



TUGAS AKHIR - RG 091536

**METODE *DIFFERENTIAL INTERFEROMETRY*  
*SYNTHETIC APARTURE RADAR (DINSAR)* UNTUK  
ANALISA DEFORMASI DI DAERAH RAWAN BENCANA  
GEMPA BUMI (Studi Kasus : Kepulauan Mentawai,  
Sumatera Barat)**

ANA RIZKA SARI  
NRP 3510 100 051

Dosen Pembimbing  
Hepi Hapsari Handayani, ST, MSc  
Dr. Agustan

JURUSAN TEKNIK GEOMATIKA  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2014

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



**FINAL ASSIGNMENT - RG 091536**

**DIFFERENTIAL INTERFEROMETRY SYNTHETIC  
APARTURE RADAR (DINSAR) METHOD FOR ANALYSIS  
GROUND DEFORMATION IN EARTHQUAKE AREA  
(Case Study: Mentawai Archipelago, West  
Sumatran)**

**ANA RIZKA SARI  
NRP 3510 100 051**

**Supervisor  
Hepi Hapsari Handayani, ST, MSc  
Dr. Agustan**

**GEOMATIC ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2014**

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

**METODE DIFFERENTIAL INTERFEROMETRY  
SYNTHETIC APARTURE RADAR (DINSAR) UNTUK  
ANALISA DEFORMASI DI DAERAH RAWAN BENCANA  
GEMPA BUMI (Studi Kasus : Kepulauan Mentawai,  
Sumatera Barat)**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Jurusan S-1 Teknik Geomatika  
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :  
**ANA RIZKA SARI**  
**NRP. 3510 100 051**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Régi Hapsari Handayani ST, M.Sc  
NIP.1975 1212 2005 01 2001

Dr. Agustan  
NIP.1974 0818 1998 01 1001



**SURABAYA, JULI 2014**

***“ Halaman ini sengaja dikosongkan”***

**METODE DIFFERENTIAL INTERFEROMETRY  
SYNTHETIC APARTURE RADAR (DINSAR) UNTUK  
ANALISA DEFORMASI DI DAERAH RAWAN BENCANA  
GEMPA BUMI (Studi Kasus : Kepulauan Mentawai,  
Sumatera Barat)**

**Nama Mahasiswa : Ana Rizka Sari**  
**NRP : 3510 100 051**  
**Jurusan : Teknik Geomatika FTSP-ITS**  
**Dosen Pembimbing : Hepi Hapsari Handayani ST, M.Sc**  
**Dr. Agustan**

**Abstrak**

*Perkembangan teknologi telah memunculkan beragam cara untuk melakukan pemantauan dan pemetaan terhadap aktifitas pergerakan bumi. Aktifitas pergerakan bumi erat kaitannya dengan fenomena deformasi. Salah satu teknologi yang dikembangkan untuk pemantauan deformasi ialah menggunakan teknologi Interferometry Synthetic Aperture Radar (InSAR). InSAR merupakan alat yang kuat untuk pengukuran deformasi di permukaan tanah dengan ketelitian sub-sentimeter. InSAR menggabungkan dua buah citra SAR untuk menghasilkan citra interferogram. Citra interferogram inilah yang digunakan untuk melakukan pemantauan pergerakan tanah. Mentawai adalah salah satu wilayah di Indonesia yang terletak di cincin api dunia. Berdasarkan struktur tektonik, gempa Mentawai yang terjadi pada tanggal 25 Oktober 2010 terjadi sebagai akibat dari lempeng Indo-Australia bergerak ke arah utara-timur laut dengan lempeng Sunda dengan kecepatan 57-69 mm / tahun.*

*Penelitian deformasi di daerah rawan gempa menggunakan sepasang ALOS PALSAR pada tanggal 29 September 2010 dan 14 November 2010. Sebagai model elevasi eksternal digunakan DEM SRTM3 90 m. Metode yang digunakan*

*adalah two-pass differential interferometry synthetic aperture radar (DInSAR).*

*Hasil pengolahan metode DInSAR menunjukkan pergeseran antara -20 cm sampai 20 cm. Berdasarkan hasil pengolahan SAR untuk mengetahui akurasi deformasi dilakukan validasi dengan data GPS kontinyu SuGAR (SuGAR Network). SuGAR Network adalah jaringan stasiun GPS di sepanjang batas lempeng Sumatera. SuGAR Network yang digunakan untuk validasi data SAR adalah stasiun MKMK, BSAT, PRKB dan BSAT. Pergeseran di setiap stasiun GPS menuju zona subduksi trench Sumatera dengan nilai pergeseran yang relatif besar, yaitu 7,268 cm, 4,352 cm dan 5,576 cm di stasiun pengamatan GPS BSAT, PRKB dan SLBU. Hasil metode DInSAR dengan data GPS kontinyu SuGAR memiliki residu rata-rata 0,947 cm. Berdasarkan hasil pengolahan data GPS, dapat disimpulkan terjadi penurunan tanah di setiap stasiun GPS dengan arah pergerakan ke barat daya.*

***Kata kunci : DInSAR, Gempa Bumi, Deformasi, Jaringan SuGAR***



**DIFFERENTIAL INTERFEROMETRY SYNTHETIC  
APARTURE RADAR (DINSAR) METHOD FOR  
ANALYSIS GROUND DEFORMATION IN  
EARTHQUAKE AREA (Case Study: Mentawai Archipelago,  
West Sumatran)**

**Name : Ana Rizka Sari**  
**NRP : 3510 100 051**  
**Department : Geomatic Engineering Department**  
**Advisor : Hepi Hapsari Handayani ST, M.Sc**  
**Dr. Agustan**

**Abstract**

*Technological development have led a variety of ways for monitoring and mapping of earth movement activities. Movement of earth activity is closely related to the deformation phenomena. One of the technologies developed for deformation monitoring technology is using Synthetic Aperture Radar Interferometry (InSAR). InSAR is a powerful tool for measuring deformation on the surface of the ground with sub-centimeter accuracy. InSAR combines the two images to produce a SAR interferogram image. Interferogram images are used to monitor the movement. Mentawai is one area in Indonesia, located in the ring of fire. Based on the tectonic structure, Mentawai earthquake that occurred on October 25, 2010 was a result of the Indo-Australian plate moving toward the north-northeast to the Sunda plate at a speed of 57-69 mm/year.*

*Detection ground deformation in Earthquake area uses two ALOS PALSAR pairs from September 29th 2010 and November 14th 2010. As an external elevation model is used 90 m DEM SRTM3. Method that is used process is two-pass differential interferometry synthetic aperture radar (DInSAR).*

*DInSAR value perform the displacement between -20 cm until 20 cm. Based on results of SAR processing to know accuracy of ground deformation is validated with Sumatran GPS Array (SuGAR) Network data. SuGAR Network is GPS stations along the Sumatran plate boundary. Sugar Network that is used for the validation of SAR data is MKMK, BSAT, PRKB and BSAT station. Displacement in each GPS station towards Sumatra trench subduction zone, with displacement values 7,268 cm, 4,352 cm and 5,576 cm at GPS stations BSAT, PRKB and SLBU. Resulting DInSAR method and GPS data have an average residual 0,947 cm. Based on the GPS data processing and DInSAR value, can be concluded that there are subsidence in each GPS station with the direction of movement to the southwest.*

***Keywords: DInSAR, Earthquake Area, Ground Deformation, SuGAR Network***

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh*

Segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT karena atas ridho dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Metode *Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR)* untuk Analisa Deformasi di Daerah Rawan Bencana Gempa Bumi (Studi Kasus: Kepulauan Mentawai, Sumatera Barat)**”.

Penulis menyadari penyusunan laporan ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Orang tua penulis, Mahfudin dan Alm.Sugiati tercinta serta kakak penulis, Mokh.Rowi atas curahan kasih sayang, doa dan dukungan secara moril maupun materil kepada penulis.
2. Ibu Hepi Hapsari Handayani, ST, MSc selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan hingga terselesainya Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr.Agustan selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan hingga terselesainya Tugas Akhir ini.
4. Bapak Khomsin, ST, MT selaku koordinator Tugas Akhir.
5. Bapak Dr. Ir. M. Taufik selaku Ketua Jurusan Teknik Geomatika ITS.
6. Seluruh staf pengajar yang telah membimbing dan memberikan materi perkuliahan kepada penulis.
7. Dan semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih banyak kekurangan baik dalam penulisan maupun isi dari laporan ini, karena itu kami sangat mengharapkan saran dan kritik yang membangun guna perbaikan kelak. Akhir kata, penulis

menyampaikan banyak terima kasih semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat untuk mahasiswa Teknik Geomatika.

*Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh*

Surabaya, Juli 2014

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
ABSTRAK .....	v
<i>ABSTRACT</i> .....	vii
LEMBAR PENGESAHAN .....	ix
KATA PENGANTAR .....	xi
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
DAFTAR TABEL .....	xix
DAFTAR SIMBOL .....	xxi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xxiii

### BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	4

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Radar ( <i>Radio Detection and Ranging</i> ) .....	5
2.1.1 Citra SAR Kompleks .....	6
2.1.2 <i>Amplitude</i> Citra Radar .....	6
2.1.3 <i>Phase</i> Citra Radar .....	7
2.1.4 Panjang Gelombang dan Frekuensi .....	9
2.2 Geometri Pencitraan Radar .....	10
2.3 Pencitraan Radar Pada <i>Range Direction</i> dan <i>Azimuth Direction</i> .....	12
2.4 Representasi Perbedaan Topografi Pada Citra Radar .....	13
2.5 Prinsip Pencitraan <i>Real Aperture Radar (RAR)</i> .....	15
2.6 Prinsip Pencitraan <i>Synthetic Aperture Radar (SAR)</i> .....	18
2.7 Prinsip Dasar <i>Interferometry Synthetic Aperture Radar (InSAR)</i> .....	21
2.8 Kualitas Interferogram .....	24

2.8.1 Koherensi Citra SAR .....	24
2.8.2 Sumber Penurunan Koherensi.....	25
2.9 Diferensial Interferometri SAR .....	28
2.10 Studi Geodinamika <i>Menggunakan Sumatran GPS Array</i> <i>(SuGAR) Network</i> .....	30
2.11 Uji Statistik .....	33
2.12 Penelitian Terdahulu.....	33

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian .....	35
3.2 Data dan Peralatan .....	35
3.2.1 Data.....	35
3.2.2 Peralatan.....	37
3.3 Metodologi Penelitian .....	38
3.3.1 Tahap Penelitian.....	38
3.3.2 Tahapan Umum Pengolahan SAR .....	40
3.3.3 Detil Tahap Pengolahan Data SAR Pada GMTSAR ....	43

### BAB IV HASIL DAN ANALISA

4.1 Citra SAR Kepulauan Mentawai .....	51
4.1.1 Umum .....	51
4.1.2 Citra Data SAR Kepulauan Mentawai .....	51
4.1.3 DEM Kepulauan Mentawai .....	52
4.2 Hasil Pengolahan Data <i>InSAR</i> .....	53
4.2.1 Panjang <i>Baseline</i> dan Interval Waktu .....	53
4.2.2 Interferogram <i>Phase</i> dan <i>Amplitude</i> .....	54
4.2.3 Koherensi Citra SAR ( <i>Image Correlation</i> ).....	54
4.2.4 Citra Interferogram Setelah <i>Filtering</i> .....	56
4.2.5 Citra Interferogram Setelah <i>Unwrapping</i> .....	57
4.2.6 Interferogram Setelah <i>Geocode</i> .....	58
4.3 Analisa Pengolahan <i>InSAR</i> .....	59
4.3.1 Geometri Pencitraan Studi Kasus .....	59
4.3.2 Keakurasian Estimasi Panjang <i>Baseline</i> .....	60
4.3.3 Nilai Koherensi Citra.....	61
4.3.4 Besar Deformasi Setelah <i>Unwrap Processing</i> .....	62

4.4 Analisa Potensi Area Terdeformasi Berdasarkan Besar <i>Magnitude</i> Gempa.....	65
4.5 Analisa Kondisi Geologi .....	68
4.6 Besar Deformasi Hasil Pengolahan Data <i>GPS</i> Dalam <i>Sumatran GPS Array (SuGAR) Network</i> .....	69
4.7 Validasi Besar Deformasi Proses <i>DInSAR</i> Menggunakan Hasil <i>SuGAR Network</i> .....	76

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan .....	81
5.2 Saran.....	82

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN

## BIOGRAFI PENULIS

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Diskripsi <i>Band</i> Pada Radar .....	10
Tabel 2.2	Perbedaan <i>InSAR</i> dengan <i>GPS</i> .....	32
Tabel 3.1	Stasiun Kontinyu GPS yang Digunakan .....	36
Tabel 4.1	Informasi Citra ALOS PALSAR Kepulauan Mentawai .....	52
Tabel 4.2	Hasil Pengolahan Data <i>GPS</i> Menggunakan Data <i>SuGAR Network</i> .....	70
Tabel 4.3	Pergeseran Tiap Stasiun <i>GPS</i> Selama Pengamatan .....	71
Tabel 4.4	Perbandingan Pergeseran Data <i>SAR</i> dan <i>GPS</i> .....	77
Tabel 4.5	Hasil Uji <i>t-test</i> .....	78

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pencitraan Radar pada Berbagai Permukaan....	7
Gambar 2.2	<i>Phase</i> Gelombang.....	8
Gambar 2.3	Geometri Pencitraan Radar.....	11
Gambar 2.4	<i>Slant Range</i> dan <i>Ground Range</i> .....	12
Gambar 2.5	Geometri <i>Layover</i> .....	14
Gambar 2.6	Geometri <i>Foreshortening</i> .....	14
Gambar 2.7	Geometri <i>Shadow</i> .....	15
Gambar 2.8	Geometri <i>RAR</i> Pada Resolusi <i>Ground Range</i> ...	16
Gambar 2.9	Geometri Pencitraan Sistem <i>SAR</i> .....	19
Gambar 2.10	Geometri Pencitraan <i>InSAR</i> untuk Pengukuran Deformasi .....	22
Gambar 2.11	Geometri <i>three pass interferometry</i> .....	30
Gambar 3.1	Lokasi Gempa Mentawai 2010.....	35
Gambar 3.2	Diagram Alir Tahap Penelitian.....	38
Gambar 3.3	Tahap Umum Pengolahan Data Pada <i>GMTSAR</i>	40
Gambar 3.4	Diagram Pengolahan Data Pada <i>GMTSAR</i> .....	44
Gambar 3.5	Ilustrasi Tahap (a) <i>Focus</i> Pada Citra <i>Master</i> dan <i>Slave</i> dan (b) <i>Align</i> dari Citra <i>Slave</i> .....	46
Gambar 3.6	Tampilan <i>DEM</i> (a) Berkoordinat Geografis dan (b) Berkoordinat Radar .....	47
Gambar 3.7	Interferogram (a) Sebelum <i>Filtering</i> dan (b) Setelah <i>Filtering</i> .....	48
Gambar 4.1	<i>DEM SRTM3</i> Kepulauan Mentawai .....	52
Gambar 4.2	<i>Plotting Baseline Perpendicular</i> Sumbu X Sebagai Waktu (Tahun) dan Sumbu Y Sebagai Panjang <i>Baseline</i> (m).....	53
Gambar 4.3	Interferogram Pasangan Citra <i>SAR</i> Kepulauan Mentawai (a) <i>phase</i> dan (b) <i>amplitude</i> .....	54
Gambar 4.4	Koherensi Citra <i>SAR</i> ( <i>Image Correlation</i> ).....	55
Gambar 4.5	(a) Citra Interferogram Sebelum <i>Filtering</i> , (b) Grafik <i>Phase</i> Sebelum <i>Filtering</i> , (c) Citra	

	Interferogram Setelah <i>Filtering</i> , dan (d) Grafik <i>Phase</i> Setelah <i>Filtering</i> .....	57
Gambar 4.6	Interferogram Setelah <i>Unwrap</i> dan <i>Geocode</i> ...	58
Gambar 4.7	Citra SAR yang Ber- <i>Georeference</i> (a) <i>Amplitude</i> , (b) <i>Phase</i> Setelah <i>Filtering</i> dan <i>Masking</i> , (c) Korelasi, dan (d) <i>Unwrap</i> .....	59
Gambar 4.8	Topografi Kepulauan Mentawai dari Data <i>DEM SRTM3</i> .....	60
Gambar 4.9	Grafik Besar Koherensi .....	62
Gambar 4.10	Hasil Citra <i>Unwrap</i> Dalam Metrik .....	63
Gambar 4.11	Grafik <i>Unwrap</i> .....	64
Gambar 4.12	<i>Cross Section</i> Hasil <i>Unwrap</i> .....	64
Gambar 4.13	<i>Plotting Magnitude</i> Gempa (a) 2D dan (b) 3D. ....	66
Gambar 4.14	Grafik Intensitas Gempa Bumi .....	67
Gambar 4.15	<i>Slab Subduction</i> Kepulauan Mentawai .....	68
Gambar 4.16	<i>Plotting Jarak</i> dari <i>Base-Rover</i> .....	69
Gambar 4.17	Pergeseran (a) Horizontal dan (b) Vertikal Tiga Hari Sebelum dan Setelah Gempa.....	72
Gambar 4.18	Besar <i>displacement</i> di stasiun <i>GPS</i> Bulasat (BSAT) .....	73
Gambar 4.19	Besar <i>displacement</i> di stasiun <i>GPS</i> Parak Batu (PRKB) .....	73
Gambar 4.20	Besar <i>displacement</i> di stasiun <i>GPS</i> Silabu (SLBU) .....	74
Gambar 4.21	Pergerakan (a) Horizontal dan (b) Vertikal .....	75
Gambar 4.22	<i>Overlay Citra Unwrap</i> dengan Stasiun <i>GPS</i> .....	79

## DAFTAR SIMBOL

$\Delta\phi$	beda <i>phase</i> .....	8
$\Delta R$	beda jarak tempuh sinyal pada saat ditransmisikan( $R_1$ ) dan diterima radar ( $R_2$ ).....	8
$\lambda$	panjang gelombang .....	8
$k$	ambiguitas <i>phase</i> .....	8
$\phi_{abs}$	<i>phase</i> absolut.....	8
$\hat{\phi}$	<i>phase</i> relatif.....	8
$\Delta R_{slanrange}$	resolusi <i>slant range</i> .....	17
$\Delta R_{groundrange}$	resolusi <i>ground range</i> .....	17
$c$	kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ ).....	17
$\tau$	waktu tempuh pulsa radar .....	17
$\theta$	<i>incidence angle</i> .....	17
$\Delta R_a$	resolusi <i>azimuth</i> .....	18
$R$	jarak miring atau <i>slant range</i> .....	18
$\beta_H$	lebar <i>footprint</i> .....	18
$L_a$	panjang antena radar .....	18
$B$	<i>bandwith</i> .....	20
$\phi_2$ dan $\phi_1$	komponen <i>phase</i> posisi A1 dan A2 .....	22
$\delta R$	perbedaan panjang <i>slant range</i> .....	23
$B$	panjang <i>baseline</i> antara A1 dan A2 .....	23
$\alpha$	sudut antara <i>baseline</i> dengan garis horizontal .....	23
$Z$	tinggi titik objek sebelum terjadi deformasi .....	23
$H$	tinggi terbang satelit di atas permukaan bidang Referensi .....	23
$\phi'_{1,3}$	beda <i>phase</i> antara komponen <i>phase</i> $\phi_1$ dan $\phi_3$ .....	24
$\delta R_2$	beda <i>slant range</i> setelah terjadi deformasi.....	24
$\Delta\phi_{1,3}$	beda antara beda dua <i>phase</i> interferogram.....	24
$\delta Z$	beda tinggi setelah deformasi.....	24
$Z_1$	ketinggian objek setelah terjadi deformasi.....	24
$\gamma'$	nilai koherensi interferogram.....	25
$c$	koefisien kompleks citra ke-1 dan ke-2 .....	25
$\gamma_{total}$	dekorelasi keseluruhan .....	25
$\gamma_{geom}$	dekorelasi geometrik .....	25

$\gamma_{\text{suhu}}$	dekorelasi suhu .....	25
$\gamma_{\text{waktu}}$	dekorelasi waktu .....	25
$\gamma_{\text{DC}}$	dekorelasi <i>doppler centroid</i> .....	25
$\gamma_{\text{pengolahan}}$	dekorelasi pengolahan data SAR .....	25
$\text{SNR}$	<i>Signal Noise to Ratio</i> .....	26
$B_r$	Lebar pita dalam arah <i>azimuth</i> .....	28
$\Delta f_{\text{DC}}$	Perbedaan frekuensi <i>Doppler Centroid</i> .....	28
$B_A$	Panjang <i>baseline</i> pada titik A .....	28
$\Delta\phi$	Beda <i>phase</i> antara dua citra SAR .....	28
$\Phi_{\text{topografi}}$	<i>Phase</i> topografi (sebagai <i>reference</i> ) .....	28
$\Phi_{\text{deformasi}}$	<i>Phase</i> deformasi .....	28
$\Phi_{\text{atmosfer}}$	<i>Phase</i> pengaruh atmosfer .....	28
$\Phi_{\text{noise}}$	<i>Phase</i> pengaruh <i>noise</i> .....	28
$d_{n,e,H}$	perubahan posisi <i>northing</i> (N), <i>easting</i> (E) dan <i>elevation</i> (H) dari pengamatan hari ke-n+1 dengan hari sebelumnya n .....	31
$P_{n,e,H}(n), P_{n,e,H}(n+1)$	posisi kala pengamatan saat n dan n+1 .....	31
$ds$	pergerakan horizontal .....	31
$dn$ dan $de$	nilai pergeseran koordinat <i>northing</i> dan <i>easting</i> ..	31
$\alpha$	<i>azimuth</i> perseran horizontal .....	31
$dH$	pergeseran tinggi dari pengamatan kala n sampai n+1 .....	32
$H(n), H(n+1)$	tinggi pada pengamatan saat hari ke-(n) dan ke-(n+1) .....	32
$\delta d$	pergeseran titik dalam periode n sampai n+1 .....	32
$\bar{y}$	rata-rata sampel .....	33
$\mu$	rata-rata populasi .....	33
$S$	simpangan baku .....	33
$t_{\alpha/2}$	hasil $t$ dari distribusi $t$ dengan derajat kebebasan (n-1) .....	33
$\alpha$	level signifikan untuk uji statistik .....	33
$H_0$	Hipotesa nol .....	33
$H_a$	Hipotesa alternatif .....	33

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	: Parameter Hasil <i>Pre-Processing</i>
Lampiran 2	: Tabel <i>Student t-test</i>

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi telah memunculkan beragam cara untuk melakukan pemantauan dan pemetaan terhadap aktifitas pergerakan bumi. Aktifitas pergerakan bumi erat kaitannya dengan fenomena deformasi. Salah satu teknologi yang dikembangkan untuk pemantauan deformasi ialah menggunakan teknologi *Interferometry Synthetic Aperture Radar (InSAR)*. *InSAR* merupakan alat yang kuat untuk pengukuran deformasi di permukaan tanah dengan ketelitian sub-sentimeter.

Teknologi *InSAR* dimulai dari perkembangan teknologi *Radar (Radio Detection and Ranging)*. *Radar* merupakan salah satu sistem penginderaan jauh (inderaja) aktif, dimana sensor pada radar ini merekam energinya sendiri yang dipantulkan oleh obyek di permukaan bumi. Prinsip dasar radar adalah memancarkan gelombang radio dan dipantulkan kembali oleh obyek di permukaan bumi tersebut. Gelombang pantulan inilah yang direkam oleh sensor dan menghasilkan sebuah citra *SAR*. *InSAR* menggabungkan dua buah citra *SAR* untuk menghasilkan citra interferogram. Citra interferogram inilah yang digunakan untuk melakukan pemantauan pergerakan tanah.

Dalam akhir dekade, *InSAR* telah membuktikan kemampuannya untuk mengetahui pergerakan tanah yang disebabkan berbagai macam peristiwa seperti gempa bumi, pergerakan es, aktivitas *volcanic* dan penurunan tanah (Massonnet et al., 1993; Zebker et al., 1994; Goldstein et al., 1993; Massonnet et al., 1995; Carnec et al., 1996; Fruneau et al., 1996 dalam Stimely, 2009).

Indonesia merupakan daerah rawan gempa bumi karena dilalui oleh jalur pertemuan tiga lempeng tektonik, yaitu: lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng

Pasifik. Lempeng Indo-Australia bergerak relatif ke arah utara dan menyusup kedalam lempeng Eurasia, sementara lempeng Pasifik bergerak relatif ke arah barat. Jalur pertemuan lempeng berada di laut sehingga apabila terjadi gempa bumi besar dengan kedalaman dangkal maka akan berpotensi menimbulkan tsunami sehingga Indonesia juga rawan tsunami.

Gempa bumi sendiri secara alamiah bisa dijelaskan sebagai gerakan tiba-tiba di kerak atau mantel bumi bagian atas. Gerakan tiba-tiba ini bisa diartikan semacam cara bumi berelaksasi menuju keadaan normalnya setelah mengalami dorongan, desakan, tumbukan, geseran atau gesekan antar lempeng. Selama proses relaksasi inilah energi akan disebar dalam bentuk gelombang yang merambat ke sejumlah bagian dan dirasakan sebagai gempa (Winardi 2006).

Mentawai merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang terletak dalam *ring of fire* dunia. Berdasarkan tatanan tektoniknya, gempa Mentawai yang terjadi pada tanggal 25 Oktober 2010 terjadi akibat interaksi antara batas lempeng subduksi Indo-Australia dan subduksi lokal Sunda. Pada lokasi ini, lempeng Indo-Australia bergerak ke arah utara-timurlaut terhadap lempeng Sunda dengan kecepatan 57-69 mm/tahun. Berdasarkan solusi mekanisme lokal dan kedalamannya, gempa ini memiliki mekanisme sesar naik dan terjadi di sepanjang *plate interface* (Yudhicara 2010). Gempa bumi sangat berpengaruh pada perubahan dan bentuk tanah yang biasanya disebut deformasi. Hal ini dikarenakan semua proses yang terjadi berasosiasi dengan pergerakan lempeng-lempeng dunia.

Deformasi sangat berhubungan erat dengan gempa bumi yakni akibat *coseismic* dan *post-seismic*. Gempa bumi biasanya akan menyebabkan kerak bumi disekitarnya terdeformasi baik dalam arah vertikal dan hirosontal. Banyak observasi telah dilakukan untuk mengetahui deformasi seperti observasi langsung menggunakan teknologi *GPS* dan

observasi tak langsung menggunakan citra satelit resolusi tinggi.

Untuk itu, dengan memanfaatkan teknologi *InSAR*, pada penelitian ini dilakukan analisis besar deformasi di wilayah rawan gempa bumi dengan studi kasus Kepulauan Mentawai, Sumatera Barat.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Dari latar belakang di atas, maka perumusan masalah dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah:

- a. Bagaimana menerapkan metode *DInSAR* untuk mengetahui deformasi *coseismic* dan *post-seismic*?
- b. Bagaimana mengetahui pergerakan tanah (*subsidence* atau *uplift*) akibat gempa bumi di Kepulauan Mentawai?
- c. Berapa besar deformasi berdasarkan *Line of Sight (LOS)* menggunakan metode *DInSAR*?
- d. Bagaimana memvalidasi hasil deformasi yang didapat dengan metode *DInSAR* menggunakan perbandingan hasil pengolahan data *GPS* dalam *Sumatran GPS Array (SuGAR) Network*?

## **1.3 Batasan Permasalahan**

Batasan masalah dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data ALOS PALSAR pada tanggal 29 September 2010 dan 14 November 2010 Level 1.0, data *GPS* dari stasiun *SuGAR Network* di Kepulauan Mentawai dan data *precise ephemeris* orbit satelit *GPS*.
- b. Lokasi penelitian ini adalah deformasi akibat gempa bumi Kepulauan Mentawai, Sumatera Barat pada tanggal 25 Oktober 2010.
- c. Metode yang digunakan adalah *DInSAR* sebagai analisis besar deformasi akibat gempa bumi.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah :

- a. Menggunakan metode *DInSAR* untuk mengetahui deformasi *coseismic* dan *post-seismic*.
- b. Mengetahui pergerakan tanah (*subsidence* atau *uplift*) akibat gempa bumi di Kepulauan Mentawai.
- c. Mengetahui besar deformasi berdasarkan *Line of Sight (LOS)* menggunakan metode *DInSAR*.
- d. Memvalidasi hasil deformasi yang didapat dengan metode *DInSAR* menggunakan perbandingan hasil pengolahan data *GPS* dalam *Sumatran GPS Array (SuGAR) Network*.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang dapat diberikan melalui pembuatan Tugas Akhir ini untuk :

- a. Dapat digunakan sebagai informasi rujukan besar deformasi di sekitar wilayah rawan gempa bumi dengan akurat.
- b. Mendapatkan informasi nilai perubahan koordinat di sekitar Kepulauan Mentawai akibat gempa bumi melalui pengolahan data *GPS* dalam *Sumatran GPS Array (SuGAR) Network* untuk memodelkan besar kecepatan penunjaman lempeng pada area tersebut.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Radar (*Radio Detection and Ranging*)**

Radar (*Radio Detection and Ranging*) adalah salah satu sistem penginderaan jauh (inderaja) yang tidak dipengaruhi oleh cuaca dan waktu dalam proses pekerjaannya karena merupakan metode perekaman aktif, dimana sensor pada radar ini merekam energinya sendiri yang dipantulkan oleh obyek di permukaan bumi, jadi tidak tergantung pada radiasi matahari.

Prinsip dasar radar adalah memancarkan gelombang radio dan dipantulkan kembali oleh obyek di permukaan bumi tersebut. Gelombang pantulan inilah yang direkam oleh sensor dan diolah menjadi citra. Citra dapat terbentuk karena gelombang yang dipantulkan mempunyai intensitas yang berbeda, tergantung dari sudut pantul obyek.

Sistem radar diklasifikasikan menjadi radar untuk pencitraan (*imaging radar*) dan bukan untuk pencitraan (*non imaging*). Suatu pencitraan akan membentuk gambar dari pengamatan obyek atau area. Pencitraan ini biasanya digunakan untuk memetakan bumi, planet-planet lainnya, asteroid, obyek langit lainnya, dan untuk keperluan militer. Sedangkan pada umumnya implementasi suatu sistem *non imaging radar* adalah untuk mengukur kecepatan dan ketinggian, biasa juga disebut *scatterometers* karena sistem ini mengukur sifat pemencaran dari obyek atau area yang diamati.

Dalam studi ini, penulis hanya akan membahas mengenai pencitraan saja khususnya dengan metode *Interferometric Synthetic Aperture Radar-InSAR*) dimana dua citra untuk area yang sama dicitrakan dari waktu yang berbeda.

### 2.1.1 Citra SAR Kompleks

Citra digital *SAR* tersusun dalam baris dan kolom yang berisi elemen terkecil suatu objek (*pixel*). Setiap *pixel* menunjukkan area terkecil di permukaan bumi yang disebut *resolution cell*. Setiap *pixel* memberikan nilai *digital number (DN)* yang berisi *amplitude* dan *phase* yang mencerminkan nilai hamburan dari suatu objek yang dicitrakan radar seperti bangunan, vegetasi bebatuan dan lain-lain. Perbedaan baris citra mencerminkan perbedaan posisi *azimuth* dan perbedaan kolom mencerminkan perbedaan posisi *slant range* (Ferriti et al. 2007).

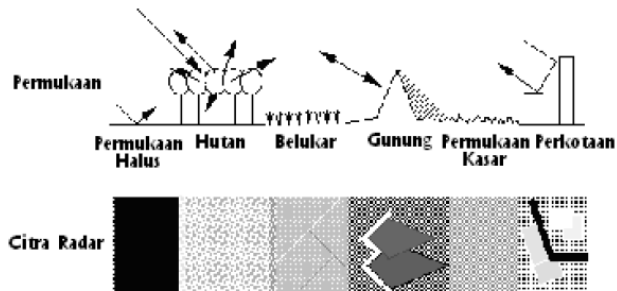
Besar kecilnya *resolution cell* citra *SAR* pada koordinat *azimuth* dan *slant range* berdasarkan karakteristik sistem radar yang digunakan. Contohnya pada kasus ERS, dimensi *resolution cell* sebesar ~5 meter di setiap koordinat *azimuth* dan ~9,5 meter di setiap koordinat *slant range*.

### 2.1.2 Amplitude Citra Radar

*Image* pada citra radar dapat terbentuk karena hasil pengukuran *amplitude* sistem radar. *Amplitude* menunjukkan seberapa kuat hamburan dari objek radar yang dapat diterima oleh *transmitter*. Semakin kuat hamburan tersebut akan menunjukkan semakin terang area pada citra radar dan semakin lemah hamburan objek akan menunjukkan semakin gelap area pada citra radar.

Saat gelombang elektromagnetik berinteraksi dengan permukaan, pulsa gelombang akan dipancarkan ke segala arah dan sebagian pantulannya tersebut akan diterima kembali oleh sensor. Intensitas dari gelombang pantul ini sangat lemah bila dibandingkan pada saat gelombang dipancarkan. Kekasaran permukaan obyek dan relief topografi merupakan faktor yang sangat

berpengaruh terhadap intensitas gelombang pantul tersebut (Sharav 2003). Apabila permukaan objek radar semakin kasar maka pantulan yang diterima akan menunjukkan semakin terang citra radar dan semakin kuat gelombang pantul yang didapat.

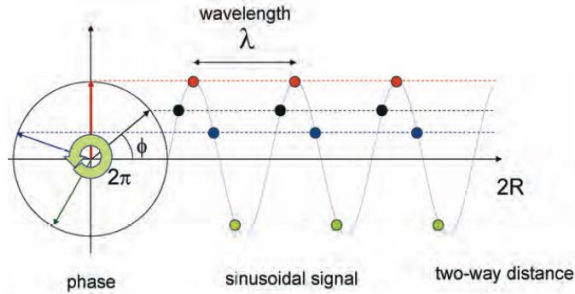


Gambar 2.1 Pencitraan Radar pada Berbagai Permukaan

### 2.1.3 Phase Citra Radar

Kunci dari teknik interferometri adalah pengukuran *phase* dari sinyal radar. *Phase* merupakan kondisi osilasi suatu sinyal gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang tertentu yang berulang setiap  $2\pi$  (Ismullah 2004).

Pada saat mentransmisikan gelombang elektromagnetik, sistem radar memiliki *time delay*  $\tau$  yang menyebabkan perubahan sinyal *phase*  $\phi$  pada saat diterima kembali oleh *receiver*. Besar jarak tempuh sinyal pada saat ditransmisikan dan diterima kembali oleh sistem radar sebesar  $2R = (R_1 + R_2)$  dengan panjang gelombang elektromagnetik sebesar  $\lambda$ .



Gambar 2.2 *Phase Gelombang* (Ferriti et al. 2007)

*Phase* sinyal pantul yang diterima lagi oleh dua sensor dapat dinyatakan dengan:

$$\Delta\phi = 4\pi.\Delta R/\lambda \quad \dots(2.1)$$

Keterangan :

$\Delta\phi$  = beda *phase*

$\Delta R$  = beda jarak tempuh sinyal pada saat  
ditransmisikan  $R_1$  dan diterima radar  $R_2$

$\lambda$  = panjang gelombang

Jika *phase* sudah diketahui, maka jarak miring dapat dihitung dengan persamaan (Ismullah 2004):

$$R = \lambda.(\phi + k) \quad \dots(2.2)$$

dimana  $k$  adalah ambiguitas *phase* yang sebelumnya harus dicari melalui proses *phase unwrapping* agar mendapatkan *phase* yang absolut, melalui:

$$\phi_{abs} = \phi^{\wedge} + k.2\pi \quad \dots(2.3)$$

dimana  $\phi^{\wedge}$  adalah *phase* relatif.



*Phase* berhubungan dengan dua jalur sinyal dari radar dan *resolution cell*. *Resolution cell* berisi ribuan pantulan objek radar yang memiliki nilai berbeda-beda sesuai dengan karakteristik tiap objek seperti perbedaan panjang *range*, tingkat konduktifitas objek yang menghasilkan perbedaan random suatu *phase*. Akibatnya *pixel* pada citra radar akan menampilkan *noise*. Untuk mendapatkan informasi bentuk geometri objek yang baik, maka perlu diminimalisir efek *noise* dengan mengkombinasikan beberapa citra radar (Massonnet 1998).

#### **2.1.4 Panjang Gelombang dan Frekuensi**

Citra radar yang diperoleh merepresentasikan jumlah energi pantul yang diterima oleh sensor. Besar kecilnya panjang gelombang yang digunakan berpengaruh pada citra yang diperoleh, semakin besar panjang gelombang maka semakin kuat daya tembus medium perantaranya (kanopi, perairan, salju, dsb).

Radar menggunakan gelombang elektromagnetik dengan frekuensi 0,3 – 40 *GHz* dan panjang gelombang 0,7 cm – 100 cm. Hanya beberapa *band* saja yang dapat digunakan untuk pencitraan karena adanya perbedaan interaksi dengan atmosfer dan permukaan bumi pada setiap panjang gelombang (Tomiyama 2010).

Tabel 2.1 Diskripsi *Band* Pada Radar (Tomiyama 2010)

Rentang Panjang Gelombang (Band)	Panjang Gelombang (cm)	Frekuensi (GHz)
Ka	0,75 - 1,1	27 - 40
K	1,1 - 1,67	18 - 27
Ku	1,67 - 2,4	12 - 18
X	2,4 - 3,75	8 - 12
C	3,75 - 7,5	4 - 8
S	7,5 - 15	2- 4
L	15 - 30	1 - 2
P	30 - 100	1 - 0,3

*Band* yang biasa digunakan untuk pencitraan oleh radar hanya *band* X, C, L, dan P. Selain *band* tersebut, biasanya lebih banyak digunakan untuk kepentingan satelit komunikasi baik televisi ataupun penyiaran radio.

## 2.2 Geometri Pencitraan Radar

Wahana memancarkan sinyal radar, memiliki bentuk geometri pencitraan tersendiri. Berikut ini adalah faktor-faktor geometri pada pencitraan radar, yaitu :

### a. *Incidence Angle*

Merupakan sudut yang dibentuk antara pancaran gelombang radar dengan garis yang tegak lurus terhadap permukaan objek

### b. *Depression Angle*

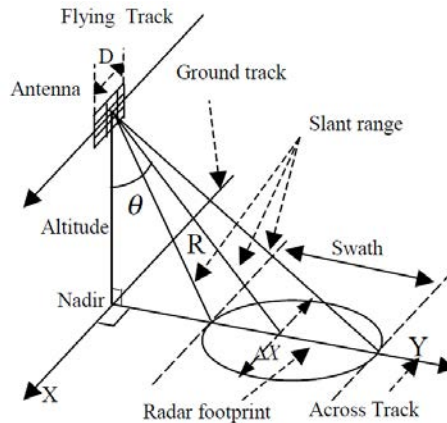
Adalah sudut yang dibentuk dari arah horisontal ke arah garis pancaran gelombang radar.

c. *Look Angle*

Merupakan sudut antara utara geografis dan arah pancaran gelombang radar atau dengan garis yang tegak lurus arah terbang wahana.

d. *Look Direction*

Merupakan arah antenna pada saat melakukan pencitraan.



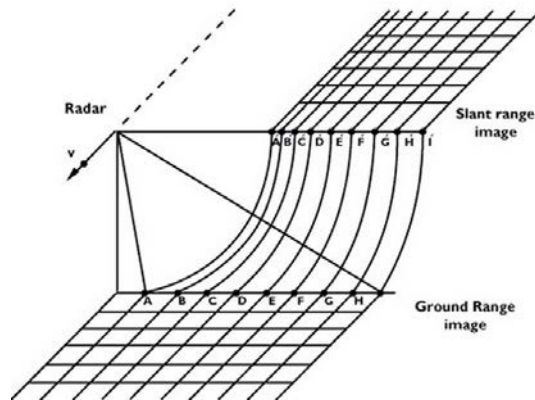
Gambar 2.3 Geometri Pencitraan Radar  
(Chen \_\_\_\_ )

Sistem pencitraan gelombang mikro atau radar dapat menghasilkan gambar resolusi tinggi dari permukaan bumi ialah *synthetic aperture radar (SAR)*. Intensitas dalam *SAR* bergantung jumlah dari hamburan kembali dari target yang diterima kembali oleh antenna *SAR*. Mekanisme fisik untuk hamburan kembali berbeda untuk gelombang radar dibandingkan dengan radiasi *visible* atau *infrared*. Interpretasi dari citra *SAR* membutuhkan pengetahuan sinyal ketika berinteraksi dengan target (Kusman 2008).

### 2.3 Pencitraan Radar Pada Range Direction dan Azimuth Direction

Sistem *remote sensing* aktif (baik dengan menggunakan wahana pesawat terbang maupun satelit), mengarahkan pancaran sinar radarnya dengan cara miring (*side looking*) terhadap garis tegak lurus arah terbang dengan *look angle*,  $\theta$ . Perpindahan arah terbang satelit disebut dengan *azimuth* atau *along-track direction*. Sedangkan arah dari antena radar saat memancarkan energi (sinyal) frekuensi gelombang *microwave* dan menerima reflektan sinyal (hamburan) objek disebut *slant range* atau *across-track direction* dan proyeksi terhadap di bidang datar disebut *ground range* (Sharav 2003).

Pada dasarnya *slant range* adalah jarak yang diukur antara antena radar dengan target yang dicitrakan dan *ground range* adalah jarak yang diukur antara arah lintasan *platform* satelit radar yang tegak lurus dengan objek yang ada dipermukaan bumi (ESA 2000).



Gambar 2.4 *Slant Range* dan *Ground Range*  
(ESA 2000)

Besar proyeksi pulsa-pulsa elektromagnetik yang ditransmisikan ke permukaan bumi akan sebesar jejak pencitraan *footprint* dengan lebar pencitraan yang disebut *swath*. Pulsa-pulsa tersebut juga dipancarkan dengan jarak waktu tertentu, yang disebut dengan *pulse repetition frequency (PRF)* dan kemudian sensor akan menerima kembali pantulan sinyal-sinyal tadi.

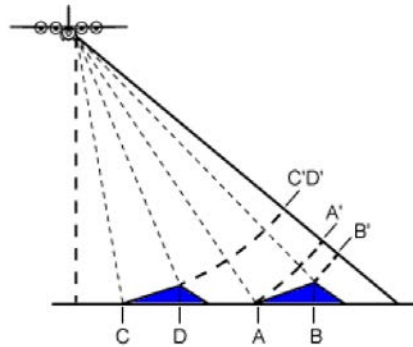
Pada *range direction*, kembalinya sinyal dari pantulan objek dengan jarak yang berbeda dipengaruhi oleh perbedaan waktu tempuh. Pada *azimuth direction*, objek dengan sudut yang berbeda menyebabkan perbedaan *doppler shift*.

## **2.4 Representasi Perbedaan Topografi Pada Citra Radar**

Arah pencitraan radar yang kesamping menyebabkan adanya perbedaan representasi topografi pada citra radar sehingga menyebabkan distorsi. Beberapa jenis distorsi topografi citra radar, yaitu (ESA 2000):

### *a. Layover*

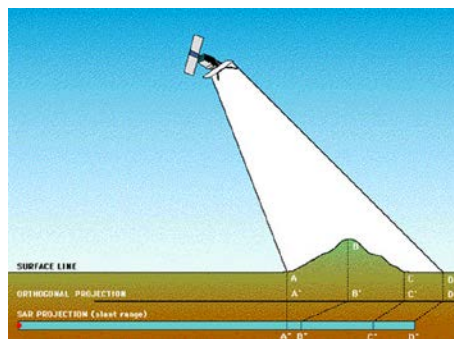
*Layover* terjadi karena kemiringan topografi lebih besar daripada sudut pantulnya (  $\alpha \geq \theta$  ). Akibat yang ditimbulkan adalah bagian target yang lebih tinggi akan memantulkan energi lebih awal bila dibandingkan dengan pantulan energi dari dasar target. Pada citra radar target yang seharusnya lebih jauh menjadi lebih dekat terhadap sensor. Distorsi ini kemungkinan besar terjadi pada arah *range* terdekat (*near range*).



Gambar 2.5 Geometri *Layover*  
(ESA 2000)

*b. Foreshortening*

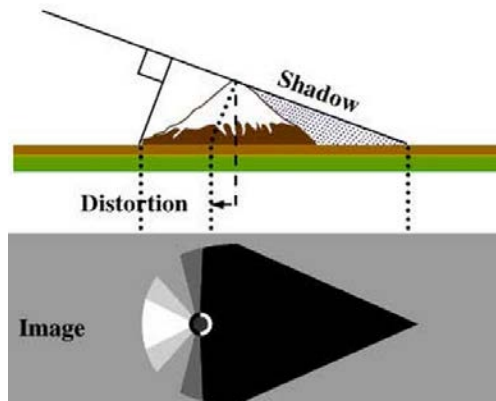
*Foreshortening* terjadi karena kemiringan topografi berada pada rentang nilai 0 sampai sudut pantul itu sendiri ( $0 < |\alpha| < \vartheta$ ). Akibat dari kondisi ini adalah terjadi kompresi pada *pixel ground range*. Dengan kata lain, *foreshortening* merupakan pemendekan pada proyeksi target (*slant range*) di citra radar dibandingkan arah *ground range*.



Gambar 2.6 Geometri *Foreshortening*  
(ESA 2000)

*c. Shadow*

*Shadow* terjadi karena kemiringan topografi  $\alpha$  lebih besar dari sudut pantul dikurangi  $\pi/2 (\alpha \leq \vartheta - \pi/2)$ . Akibat dari kondisi ini adalah permukaan yang tidak terkena pancaran energi dari sensor karena terhalang oleh obyek lain, sehingga akan tampak sebagai daerah yang hitam karena tidak ada energi pantul yang diterima oleh sensor.



Gambar 2.7 Geometri *Shadow*  
(ESA 2000)

## 2.5 Prinsip Pencitraan *Real Aperture Radar (RAR)*

*Real Aperture Radar (RAR)* merupakan salah satu sistem pencitraan radar dengan mengarah kesamping (*side looking*) dengan geometri pengamatan (tinggi terbang, sudut pengamatan, panjang gelombang, dll), tergantung dengan satelit yang digunakan.

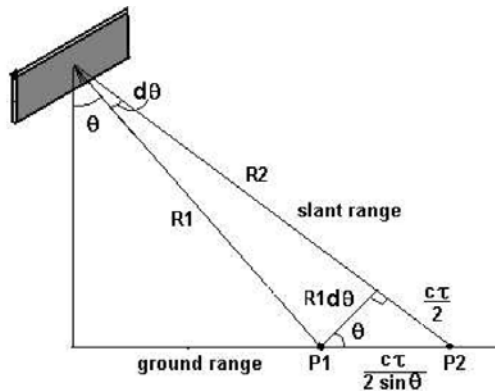
Antena dari satelit dengan sistem *RAR* memancarkan sinyal elektromagnetik dengan arah tegak lurus dari satelit pengamatan ke arah permukaan bumi. Resolusi spasial dari sistem *RAR* ditentukan oleh ukuran antena yang digunakan, semakin panjang antena, semakin baik resolusi spasialnya (Kusman 2008).

Dalam sistem *RAR*, resolusi spasial dipengaruhi oleh antena (ukuran, durasi pulsa, *beamwidth*). Semakin besar parameter antena yang digunakan semakin baik resolusi spasialnya. Terdapat dua resolusi spasial pada sistem *RAR*, yaitu *slant range resolution* pada jarak *slant range* ( $\Delta R_{slantrange}$ ) atau *ground range resolution* pada arah *cross-track* ( $\Delta R_{groundrange}$ ) dan *azimuth resolution* pada arah jalur terbang satelit ( $\Delta R_a$ ).

a. *Range Resolution*

*Range Resolution* adalah resolusi yang tegak lurus arah terbang. Pada *slant range* ditentukan dengan panjang pulsa atau waktu tempuh pulsa  $\tau$ . Panjang pulsa merupakan waktu yang diperlukan pulsa dari satu pulsa ke pulsa berikutnya.

Dengan mempertimbangkan waktu tempuh pulsa  $\tau$  yang diperlukan gelombang selama perjalanan dari mulai dipancarkan, dipantulkan, dan akhirnya diterima kembali oleh sistem radar. Perbedaan *slant range* antara titik  $P_1$  dan  $P_2$  dapat ditentukan melalui hubungan sebagai berikut:



Gambar 2.8 Geometri *RAR* Pada Resolusi *Ground Range*  
(Sharav 2003)



$$\Delta R_{slanrange} = c\tau/2 \quad \dots(2.4)$$

Kemudian diproyeksikan pada *ground range* dengan *incidence angle*  $\theta$  didapatkan jarak sebagai berikut:

$$\Delta R_{groundrange} = c\tau/2\sin\theta \quad \dots(2.5)$$

Keterangan:

$\Delta R_{slanrange}$	= resolusi <i>slant range</i>
$\Delta R_{groundrange}$	= resolusi <i>ground range</i>
$c$	= kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ )
$\tau$	= waktu tempuh pulsa radar
$\theta$	= <i>incidence angle</i>

Seperti yang digambarkan pada Gambar 2.5 diatas, dengan meningkatkan waktu tempuh pulsa radar  $\tau$  akan meningkatkan resolusi. Akan tetapi  $\tau$  sangat singkat sehingga untuk meningkatkan resolusi, *S/N ratio* yang diterima kembali oleh radar akan mengurangi besarnya energi yang ditransmisikan dan menjadi rendah (Curlander 1991).

b. *Azimuth Resolution*

*Azimuth resolution* merupakan resolusi pada arah yang sejajar dengan arah terbang. Dua titik dapat dibedakan sepanjang arah lintasan hanya jika mereka tidak diindera secara simultan. Untuk membedakan dua obyek secara terpisah, harus dipisahkan pada arah *azimuth* oleh jarak yang lebih besar dibandingkan dengan lebar *footprint* di permukaan bumi. Lebar *footprint* ditentukan oleh panjang antenna,  $\beta_H = \lambda/L_a$  (Curlander 1991) maka *azimuth resolution* adalah sebagai berikut:

$$\Delta R_a = R \cdot \beta_H = R \cdot \lambda / L_a \quad \dots(2.6)$$

Keterangan :

$\Delta R_a$  = resolusi *azimuth*

$R$  = jarak miring atau *slant range*

$\beta_H$  = lebar *footprint*

$\lambda$  = panjang gelombang

$L_a$  = panjang antena radar

Dari persamaan di atas dapat diketahui bahwa *azimuth resolution* dapat ditingkatkan dengan cara memperpendek jarak miring, memperpanjang antena, dan menggunakan panjang gelombang yang lebih pendek. Hal inilah yang menjadi masalah dalam sistem *RAR* karena sistem pencitraan menggunakan antena sebenarnya. Untuk mendapatkan resolusi 10 m dengan menggunakan *wavelength*  $\lambda = 5,66$  cm (ERS1/2) dengan jarak *slant range* 785 km dibutuhkan panjang antena  $L_a = 3$  km. Panjang antena tersebut akan sangat sulit untuk dipasang pada pesawat terbang.

## 2.6 Prinsip Pencitraan *Synthetic Aperture Radar (SAR)*

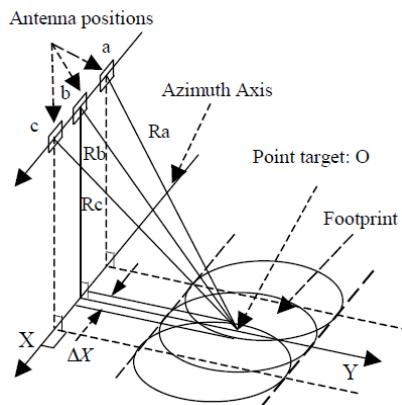
*Synthetic Aperture Radar (SAR)* merupakan sistem radar koheren yang membentuk citra penginderaan jauh resolusi tinggi yang dapat digunakan pada siang maupun malam hari. *SAR* dapat digunakan pada siang maupun malam hari pada segala jenis kondisi cuaca, hal ini dikarenakan sistem *SAR* menggunakan gelombang radio (*microwave*) untuk pengamatan permukaan bumi (Hansenn 2001).

Pada prinsipnya, *SAR* menggunakan prinsip dopler terutama dari gema radar yang dihasilkan dari putaran suatu benda di depan satelit untuk mensintesis sebuah antena besar. Hal ini memberikan hasil ketelitian tinggi dari resolusi *azimuth* pada citranya dengan ukuran antena yang kecil.

Pada Gambar 2.9 di bawah adalah dengan mengansumsikan panjang antena sebesar  $L_a$  yang bergerak

dari titik “a” ke titik “b” kemudian ke titik “c” dengan memancarkan dan menerima reflektan dari objek O akan didapat perbedaan *slant range* yaitu,  $R_a$  ke  $R_b$  kemudian  $R_c$ . Dapat disimpulkan bahwa  $R_a > R_b$  dan  $R_b > R_c$ . Jarak  $R_a$  adalah jarak *slant range* pada saat antenna radar semakin mendekati objek O, sampai *slant range* berada pada jarak terpendek sebesar  $R_b$ , kemudian antenna akan terus bergerak menjauhi objek O dengan *slant range* sebesar  $R_c$ . Perbedaan *slant range* karena adanya pergeseran frekuensi (*frequency shift*) dari reflektan sinyal (hamburan) dari titik O. Antena  $L_a$  akan bergerak selanjang lintasan, gelombang tidak akan terdeteksi secara bersamaan.

Dengan menggunakan Prinsip Doppler, hasil citra untuk setiap obyek akan berbeda tanpa memiliki antenna yang panjang karena pada saat wahana bergerak melewati obyek, obyek akan terekam dengan frekuensi yang berbeda-beda dengan selang waktu tertentu dan hasil yang penting adalah resolusi *azimuth* pada sistem SAR tidak tergantung pada jarak antenna ke permukaan dan dengan antenna yang lebih kecil akan memberikan resolusi yang lebih baik.



Gambar 2.9 Geometri Pencitraan Sistem SAR  
(Chen \_\_\_\_)

Resolusi *SAR* dibagi menjadi 2 hal, yaitu sebagai berikut (ESA 2000) :

a. *Range Resolution*

Resolusi dari pulsa radar adalah secara mendatar dibatasi oleh *bandwith* (B) dari pancaran pulsa gelombang (*c*), dengan semakin lebar pada *bandwith* maka resolusi *range* akan lebih baik, lebar *bandwith* tersebut akan dicapai dengan pulsa durasi pendek, secara matematis dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$\Delta R_{slanrange} = c/(2.B) \quad \dots(2.7)$$

Keterangan	:
$\Delta R_{slanrange}$	= resolusi <i>slant range</i>
c	= pancaran pulsa gelombang
B	= <i>bandwith</i>

b. *Azimuth Resolution*

Prinsip pengukuran radar bergantung dari penggunaan radiasi koherennya, bersama dengan informasi yang diterima dari suatu titik dari pulsa radar tersebut. Untuk sebuah pengamat yang ber-*platform* dan berpindah-pindah, sehingga jarak dari radar ke target juga secara kontinyu berubah, menyebabkan *phase* dari pantulan sinyal berubah sesuai dengan hukum yang diberikan oleh observasi geometri, sehingga batas efeknya sebanding dengan sinyal yang diterima secara terus-menerus oleh antena dengan panjang tidak lebih dari panjang dari sinyal radar yang direkam. Dengan cara ini antena sintesis dapat mengatasi tingkat elemen radiasi bebas, dimana dipisahkan sejak pengulangan pulsa frekuensi dan kecepatan *platform*. Perubahan *phase* berhubungan dengan waktu frekuensi angular Doppler, serta resolusi *azimuth* ditentukan oleh *bandwith* Doppler

dari sinyal yang diterima. Rumus resolusi *azimuth*-nya menjadi (Usai 2001):

$$\Delta R_a = L_a / 2 \quad \dots (2.8)$$

Keterangan :

$\Delta R_a$  = resolusi *azimuth*

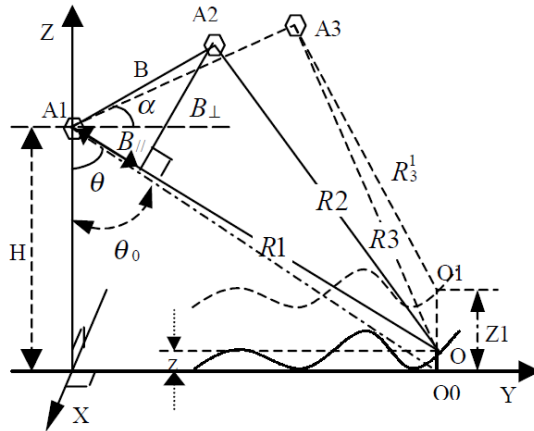
$L_a$  = panjang antena radar

## **2.7 Prinsip Dasar Interferometry Synthetic Aperture Radar (InSAR)**

*Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR)* adalah teknologi penginderaan jauh yang menggunakan citra hasil dari satelit radar. Sistem ini menyinari bumi dengan sinar dari radiasi koherens gelombang radar, dengan mempertahankan informasi *phase* dan *amplitude* dalam gema radar selama akuisisi data dan pengolahan data. Radiasi ini dapat di gambarkan melalui 3 komponen utama, yaitu (Kusman 2008):

1. Panjang gelombang, jarak antar puncak dalam gelombang.
2. *Amplitude*, pergeseran puncak dari gelombang.
3. *Phase*, pergeseran gelombang dari beberapa gelombang lain

*InSAR* memanfaatkan perbedaan dalam pengukuran *phase* untuk mendapatkan beda jarak dan perubahan jarak dari dua atau lebih citra *SAR* yang memiliki nilai kompleks dari permukaan yang sama. Hasil perbedaan dari *phase*  $\phi(x,r)$  tersebut menghasilkan jenis citra baru yang disebut inteferogram, dimana pola *fringes* mengisikan semua informasi geometri relatif.



Gambar 2.10 Geometri Pencitraan *InSAR* untuk Pengukuran Deformasi (Chen \_\_\_\_ )

Pada Gambar 2.10 dengan mengansumsikan nilai kompleks citra  $S_1'(x,r)$  pada posisi A1 dengan komponen *phase*  $\phi_1(x,r)$  dan  $S_2'(x,r)$  pada posisi A2 dengan komponen *phase*  $\phi_2(x,r)$ . Berdasarkan teori perambatan gelombang, keterlambatan *phase* diukur oleh antenna radar sebanding dengan jarak *slant range* dari antenna ke titik target sebesar:

$$\phi = 2\pi R/\lambda \quad \dots(2.9)$$

dengan mengurangi komponen *phase*  $\phi_1(x,r)$  terhadap  $\phi_2(x,r)$  akan didapat *phase* interferogram sebesar  $\phi(x,r)$ .

$$\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1 = 2\pi\delta R/\lambda \quad \dots(2.10)$$

Keterangan :

- $\Delta\phi$  = beda *phase*
- $\phi_2$  dan  $\phi_1$  = komponen *phase* posisi A1 dan A2
- $R$  = jarak miring atau *slant range*

$\delta R$  = perbedaan panjang *slant range*

$\lambda$  = panjang gelombang

dari komponen *phase*  $\phi(x,r)$ , perbedaan jarak *slant range* antara  $R_1$  (jarak dari target O saat posisi satelit di A1) dan  $R_2$  (jarak dari target O saat posisi satelit di A2) dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\delta R = \phi \cdot \lambda / 4\pi \quad \dots(2.11)$$

jika tidak terjadi pergerakan atau deformasi pada jeda waktu satelit di posisi A1 sampai A2, ketinggian Z titik O dapat dihitung dengan rumus :

$$\sin(\theta - \alpha) = R^2 + B^2 - (R + \delta R)^2 / (2 \cdot R \cdot B) \quad \dots(2.12)$$

$$Z = H - R \cos \theta \quad \dots(2.13)$$

Keterangan :

$\theta$  = *look angle* radar

$B$  = panjang *baseline* antara A1 dan A2

$\alpha$  = sudut antara *baseline* dengan garis horizontal

$Z$  = tinggi titik objek sebelum terjadi deformasi

$H$  = tinggi terbang satelit di atas permukaan bidang referensi

Apabila terjadi perubahan titik O ke posisi  $O_1$  sebelum antenna satelit berpindah ke posisi A3, besar *slant range*  $R_{13} = R_3 + \delta R_2$ , perbedaan *phase* ( $\phi'_{13}$ ) antar komponen *phase*  $\phi_1$  dan  $\phi_3$  adalah sebesar:

$$\begin{aligned} \Phi'_{13} &= \phi_3 - \phi_1 = 4\pi(R_{13} - R_1)/\lambda = 4\pi(R_3 - R_1 + \delta R_2)/\lambda = \\ &4\pi\delta R_1/\lambda + 4\pi\delta R_2/\lambda = \phi_{13} + 4\pi\delta R_2/\lambda \end{aligned} \quad \dots(2.14)$$

bentuk pertama  $\phi_{13} = 4\pi\delta R_1/\lambda$  adalah komponen *phase* karena efek topografi dan bentuk kedua  $4\pi\delta R_2/\lambda$  adalah komponen *phase* karena terdapat deformasi. Dengan mempertimbangkan efek topografi pada perbedaan *slant range*  $\delta R_2$  yang terdeformasi, besarnya  $\delta R_2$  dapat dihitung sebagai berikut:

$$\delta R_2 = \lambda(\phi'_{13} - \phi_{13})/4\pi = \lambda \cdot \Delta\phi_{13}/4\pi \quad \dots(2.15)$$

Keterangan :

- $\phi'_{13}$  = beda *phase* antara komponen *phase*  $\phi_1$  dan  $\phi_3$   
 $\delta R_2$  = perbedaan *slant range* setelah terjadi deformasi  
 $\Delta\phi_{13}$  = beda antara beda dua *phase* interferogram

Setelah mendapatkan komponen deformasi *slant range*  $\delta R_2$ , beda tinggi yang terdeformasi  $\delta Z$  dapat dihitung sebagai berikut:

$$\delta Z = Z_1 - Z = \delta R_2 \cos \theta \quad \dots(2.16)$$

Keterangan :

- $\delta Z$  = beda tinggi setelah deformasi  
 $Z_1$  = ketinggian objek setelah terjadi deformasi  
 $Z$  = ketinggian objek sebelum terjadi deformasi  
 $\delta R_2$  = perbedaan *slant range* setelah terjadi deformasi  
 $\theta$  = *look angle* radar

## 2.8 Kualitas Interferogram

### 2.8.1 Koherensi Citra SAR

Selain *phase*, koherensi (korelasi) antara kedua citra juga harus diperhitungkan. Koherensi adalah koefisien korelasi dari citra SAR pada bagian terkecil. Nilai koherensi dapat dinyatakan pada persamaan (Usai 2001):



$$\hat{\gamma} = \frac{\sum c_1 c_2^*}{\sqrt{\sum |c_1|^2 \sum |c_2|^2}} \quad \dots(2.17)$$

Keterangan :

$\gamma'$  = nilai koherensi interferogram

$c$  = koefisien kompleks citra ke-1 dan ke-2

Besar koherensi citra 0 sampai 1. Apabila nilai koherensi 0 mengindikasikan *noise*, tidak terdapat kecocokan antar citra sehingga tidak ada informasi yang berarti pada interferogram. Apabila nilai koherensi 1 mengindikasikan tidak adanya *noise* dan kedua citra memiliki kesesuaian maksimum. Namun faktanya, nilai koherensi yang didapat antara  $0 < \gamma' < 1$ . Nilai 0 pada umumnya memiliki warna hitam sedangkan koherensi 1 memiliki warna putih. Akan tetapi, untuk keperluan tertentu warna dari masing-masing koherensi dapat dimodifikasi dengan tidak mengubah informasi besar koherensi citra sesuai kebutuhan.

### 2.8.2 Sumber Penurunan Koherensi

Nilai koherensi  $\gamma'$  merupakan total dari korelasi yang mempengaruhinya, secara mudah diformulasikan sebagai berikut (Hanssen 2001):

$$\gamma_{\text{total}} = \gamma_{\text{geom}} \times \gamma_{\text{suhu}} \times \gamma_{\text{waktu}} \times \gamma_{\text{DC}} \times \gamma_{\text{pengolahan}} \quad \dots(2.18)$$

Keterangan:

$\gamma_{\text{total}}$  = dekorelasi keseluruhan

$\gamma_{\text{geom}}$  = dekorelasi geometrik

$\gamma_{\text{suhu}}$  = dekorelasi suhu

$\gamma_{\text{waktu}}$  = dekorelasi waktu

$\gamma_{\text{DC}}$  = dekorelasi *doppler centroid*

$\gamma_{\text{pengolahan}}$  = dekorelasi pengolahan data SAR

a. Dekorelasi Geometrik (*Geometric Decorrelation*)

Jika *baseline* terlalu panjang, penjumlahan koheren radiasi dari gelombang pantul akan sangat berbeda sehingga memberikan kesalahan informasi tinggi topografi dan besar pergerakan objek. Koherensi akan hilang sama sekali apabila panjang *baseline*-nya melebihi dari panjang *baseline perpendicular*-nya ( $B_{\perp}$ ). Dekorelasi geometrik dinyatakan dengan persamaan:

$$\gamma_{\text{geom}} = 1 - [2|B| \cdot \Delta R_{\text{groundrange}} \cdot (\cos\theta)^2 / \lambda \cdot R] \quad \dots(2.19)$$

Keterangan :

$\gamma_{\text{geom}}$  = dekorelasi geometric  
 $\Delta R_{\text{groundrange}}$  = resolusi *ground range*  
 $R$  = *slant range*  
 $B$  = *baseline*

b. Dekorelasi Suhu (*Thermal Decorrelation*)

Pengaruh dari gangguan panas terhadap nilai fase didapatkan dengan memperhatikan nilai *Signal Noise to Ratio (SNR)* yang ada. SNR merupakan ukuran kekuatan sinyal yang berhubungan dengan ukuran panas, dimana ukuran panas tersebut terjadi antara lain karena proses penguatan (*amplification*) dari sinyal radar yang di terima oleh antena. Gangguan ini merupakan hal yang terjadi di luar sistem radar. Dekorelasi digambarkan dalam persamaan:

$$\gamma_{\text{suhu}} = 1 / (1 + \text{SNR}^{-1}) \quad \dots(2.20)$$

Keterangan :

$\gamma_{\text{suhu}}$  = *Dekorelasi thermal*  
 $\text{SNR}$  = *Signal Noise to Ratio*

c. Dekorelasi waktu (*Temporal Decorrelation*)

Pencitraan dengan proses interferometri dengan wahana satelit menggunakan metode *repeat pass* akan terjadi perbedaan waktu. Berbeda dengan wahana yang menggunakan pesawat udara dengan 2 antena, penginderaan dilakukan pada saat yang sama tanpa pengaruh beda waktu. Contoh dekorelasi yang disebabkan oleh perbedaan waktu:

- Permukaan air. Akibat permukaan air yang selalu bergerak maka posisi objek pencitraan pertama tidak sama dengan pencitraan kedua.
- Tumbuh-tumbuhan. Tumbuh-tumbuhan merupakan makhluk hidup yang memiliki kemampuan untuk tumbuh dan juga selalu bergerak akibat adanya angin, sehingga kondisi tumbuhan disaat pencitraan pertama tidak selalu sama dengan kondisi tumbuhan disaat pencitraan berikutnya.
- Erosi. Perubahan bentuk permukaan tanah yang diakibatkan oleh erosi akan menyebabkan dekorelasi pada citra utama dan kedua.
- Aktivitas manusia. Aktivitas manusia yang menyebabkan perubahan kondisi bentuk permukaan bumi dapat menyebabkan dekorelasi citra utama dengan citra kedua.

d. Dekorelasi Orbit (*Orbit Decorrelation*)

Satelit bergerak pada lintasannya yang disebut orbit. Perubahan orbit pada waktu melakukan pencitraan pertama dengan orbit pada pencitraan kedua menyebabkan ketidaksesuaian diantaranya. Hal-hal yang mempengaruhi gerakan satelit diantaranya medan gravitasi bumi, matahari, bulan, dan planet-planet lainnya.

e. Dekorelasi pusat doppler (*Centroid Doppler Decorrelation*)

Perbedaan frekuensi pusat Doppler diantara kedua pencitraan ( $\Delta f_D$ ) akan mengakibatkan terjadinya dekokorelasi pada arah *azimuth*. Peningkatan perbedaan frekuensi Doppler tersebut akan mengakibatkan menurunnya koherensi.

$$|Y_{DC}| = \begin{cases} 1 - \frac{\Delta f_{DC}}{B_A} & |\Delta f_{DC}| \leq B_A \\ 0 & |\Delta f_{DC}| > B_A \end{cases} \quad \dots(2.21)$$

Keterangan:

$B_A$  = Lebar pita dalam arah *azimuth*.

$\Delta f_{DC}$  = Perbedaan frekuensi *Doppler Centroid*

$B_A$  = Panjang *baseline* pada titik A

## 2.9 Diferensial Interferometri SAR

Diferensial interferometri bertujuan untuk mengamati pergerakan tanah atau deformasi tanah dengan menggunakan teknik *repeat-pass interferometry* (Purna 2009).

Beda *phase* interferometrik mengandung informasi dari profil topografi ( $\phi_{topo}$ ), perbedaan lintasan orbit ( $\phi_{orb}$ ), deformasi ( $\phi_{defo}$ ), atmosfer ( $\phi_{atm}$ ), dan *noise* fase ( $\phi_{noise}$ ) dan dapat dituliskan sebagai berikut (Hannsen 2001):

$$\Delta\phi = \phi_{topografi} + \phi_{deformasi} + \phi_{atmosfer} + \phi_{noise} \quad \dots(2.22)$$

Keterangan :

$\Delta\phi$  = Beda *phase* antara dua citra SAR

$\phi_{topografi}$  = *Phase* topografi (sebagai *reference*)

$\phi_{deformasi}$  = *Phase* deformasi

$\phi_{atmosfer}$  = *Phase* pengaruh atmosfer

$\phi_{noise}$  = *Phase* pengaruh *noise*

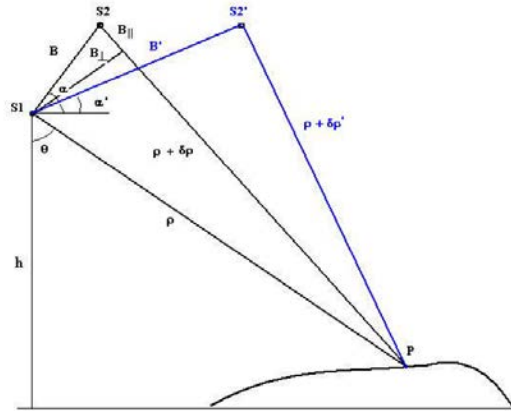
Sehingga untuk mendapatkan efek deformasi harus dilakukan metode *differential interferometry* atau dengan mendeferensialkan 2 interferogram dan menghilangkan pengaruh topografi, *noise*, dan atmosfer. Beberapa metode yang digunakan dalam membuat *differential interferometry* adalah (Hanssen 2001) sebagai berikut:

a. Metode *two-pass interferometry*

Metode ini menggunakan model elevasi (*DEM*) eksternal yang dikonversikan kedalam koordinat radar, diskalakan menggunakan baseline (Massonet 1998). Kesalahan yang terdapat pada data *DEM* ini pada akhirnya akan merambat pada hasil perhitungan diferensial *InSAR*. Dengan kata lain, semakin baik kualitas *DEM* yang digunakan, maka semakin baik pula citra diferensial insar yang dihasilkan.

b. Metode *three pass interferometry*

Dalam hal ini, citra *SAR* yang digunakan berjumlah 3 buah, dengan dua data *SAR* memiliki jeda waktu pengamatan yang relatif pendek, dan pengamatan kedua waktunya terpisah lebih panjang. Pada Gambar 2.11 terdapat 3 akuisisi pencitraan dengan posisi satelit S1, S2 dan S2'. Pasangan data S1 dan S2 memiliki rentang waktu yang pendek diolah untuk menghasilkan *topographic-pair* untuk menghasilkan data topografi yang diperlukan pada pengolahan *differential InSAR* dan diasumsikan tidak terjadi deformasi pada selang waktu pengamatan tersebut. *Displacement* terjadi antara citra pertama dan ketiga (S1 dan S2').



Gambar 2.11 Geometri *three pass interferometry*  
(Sharav 2003)

c. Metode *four-pass interferometry*

Teknik ini dapat dilakukan manakala *baseline* untuk dua pasang data tidak memungkinkan, atau tidak tersedia *DEM* pada area penelitian. Dengan menggunakan metode *topographic pair* dan *deformation pair* bersifat independen (Hanssen 2001).

## 2.10 Studi Geodinamika Menggunakan *Sumatran GPS Array (SuGAR) Network*

Selain menggunakan teknologi *InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar)* untuk memantau fenomena deformasi, dapat juga memanfaatkan teknologi *GPS* melalui pengamatan titik – titik di area kajian deformasi. Prinsip dari teknologi *GPS* ini untuk pemantauan deformasi adalah dengan menentukan nilai pergeseran dengan menghitung selisih hari ke-(n+1) dengan hari sebelumnya (n), secara matematis ditulis sebagai berikut (Abidin 2001):

$$d_{n,e,H} = P_{n,e,H}(n+1) - P_{n,e,H}(n) \quad \dots(2.23)$$

Keterangan:

$d_{n,e,H}$  = perubahan posisi *northing* (N), *easting* (E) dan *elevation* (H) dari pengamatan hari ke-n+1 dengan hari sebelumnya n

$P_{n,e,H}(n)$ , = posisi kala pengamatan saat n dan n+1

$P_{n,e,H}(n+1)$

Vektor pergeseran merupakan salah satu indikasi terjadinya deformasi pada gempa bumi. Vektor pergeseran dapat dibagi dua komponen, yaitu komponen horizontal dan komponen vertikal.

Komponen horizontal adalah besar dan pola vektor pergeseran secara bidang horizontal. Arah pergeseran ditunjukkan oleh besarnya azimuth dari pergeseran titik-titik kerangka dasar deformasi tersebut.

$$ds = \sqrt{dn^2 + de^2} \quad \dots(2.24)$$

$$\tan \alpha = \frac{de}{dn} \quad \dots(2.25)$$

Keterangan:

ds = pergerakan horizontal

dn dan de = nilai pergeseran koordinat *northing* dan *easting*

$\alpha$  = azimuth pergeseran horizontal

Komponen vertikal menjelaskan mengenai besar dan pola vektor pergeseran secara vertikal. Besarannya didapat dari perbedaan komponen tinggi (H) antar kala pengamatan yang berbeda. Tanda positif pada nilai pergeseran tinggi menandakan titik bergeser ke atas, sedangkan tanda negatif menandakan bergeser ke bawah. Secara matematis ditulis sebagai berikut:

$$dH = H(n+1) - H(n) \quad \dots(2.26)$$

Keterangan:

$dH$  = pergeseran tinggi dari pengamatan kala  $n$  sampai  $n+1$ .

$H(n), H(n+1)$  = tinggi pada pengamatan saat hari ke-( $n$ ) dan ke-( $n+1$ )

Menurut Abidin (2007) untuk mengecek signifikansi secara statistik dari vektor pergeseran hasil estimasi *GPS*, *congruency test* diterapkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Caspary 1987):

$$\delta d = \sqrt{dn^2 + de^2 + dH^2} \quad \dots(2.27)$$

dimana  $\delta d$  adalah pergeseran titik dalam periode  $n$  sampai  $n+1$

Tabel 2.2 Perbedaan *InSAR* dengan *GPS* (Kusman 2008)

No	Perbedaan	<i>InSAR</i>	<i>GPS</i>
1	Pengambilan data	Tidak langsung	Langsung
2	Data	Area (piksel)	Titik
3	Ketelitian vertikal	Level milimeter	Level sentimeter
4	Ketelitian horizontal	Level meter	Level milimeter
5	Hasil	Model 3D	Vektor 3D
6	Keterlibatan SDM	Sedikit	Cukup banyak
7	Biaya (Minimal data)	5 – 10 juta rupiah per <i>scene</i>	1 juta rupiah per titik

Untuk memilih teknologi mana yang murah dengan menggunakan *InSAR* atau *GPS* itu adalah relatif tergantung



dari area pengamatannya atau jumlah titik pengamatan dan keperluan pemantauan fenomena deformasinya.

## 2.11 Uji Statistik

Uji *t-test* digunakan untuk menurunkan interval kepercayaan dari rata-rata populasi yang mempunyai set sampel yang relatif kecil dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Ghilani, C.D dan P.R. Wolf 2006):

$$\bar{y} - t_{\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{y} + t_{\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}} \quad \dots(2.28)$$

Keterangan:

- $\bar{y}$  = rata-rata sampel
- $\mu$  = rata-rata populasi
- $S$  = simpangan baku
- $t_{\alpha/2}$  = hasil  $t$  dari distribusi  $t$  dengan derajat kebebasan  $(n-1)$
- $\alpha$  = level signifikan untuk uji statistik

Untuk menguji kebenaran nilai deformasi, uji hipotesa dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Ghilani, C.D dan P.R. Wolf 2006):

$$\text{Hipotesa nol} \quad : H_0: \mu = \bar{y} \quad \dots(2.29)$$

$$\text{Hipotesa alternatif} : H_a: \mu \neq \bar{y} \quad \dots(2.30)$$

Hipotesa nol yang digunakan dalam penelitian ini adalah nilai pergeseran titik dari *SAR* ( $\bar{y}$ ) tidak dapat digunakan sebagai hasil analisa besar deformasi seperti pergeseran titik pada *GPS* ( $\mu$ ).

## 2.12 Penelitian Terdahulu

Penelitian dengan menggunakan teknik *DInSAR* metode repeat *2-pass interferometry* telah dilakukan dalam

beberapa studi kasus. Seperti penggunaan *DInSAR* untuk deformasi gunung api dan *landslide/slope movement*.

Teknik *DInSAR* digunakan dalam menentukan deformasi gunung api oleh Arief Kusman, divisi penelitian geodesi dari ITB dengan judul “Studi Deformasi Gunung Api Batur Dengan Menggunakan Teknologi *Sar* Interferometri (*InSAR*)”. Penelitian ini menggunakan data ERS-1 dan ERS-2 dari perekaman tahun 1996 sampai tahun 2001. Hasil dari penelitian ini didapat nilai deformasi dalam level beberapa sentimeter. Pada kurun waktu 1996-2000 terjadi kenaikan muka tanah (inflasi) yaitu sekitar 0,04 – 0,1 m dan kurun waktu 1998 – 2000 terjadi penurunan muka tanah (deflasi) sekitar 0,01 – 0,02 m di sekitar kawah gunung api batur.

Peneliti lain yang menggunakan teknik *DInSAR* untuk *landslide* adalah Noorlaila Hayati, mahasiswa pascasarjana Teknik Geomatika ITS-Surabaya yang berjudul “Analisa Gerakan Lereng (*Slope Movement*) di Daerah Rawan Bencana Longsor Menggunakan Teknologi *DInSAR* (studi Kasus: Kota Semarang, Jawa Tengah)”. Dalam penelitian ini digunakan data ALOS-PALSAR fine mode level 1.0 tahun 2007 dan 2008. Hasil penelitiannya didapat nilai pergerakan lereng wilayah Semarang dengan topografi 8 % - 45 % berkisar pada 1,879 – 5,637 cm/tahun.

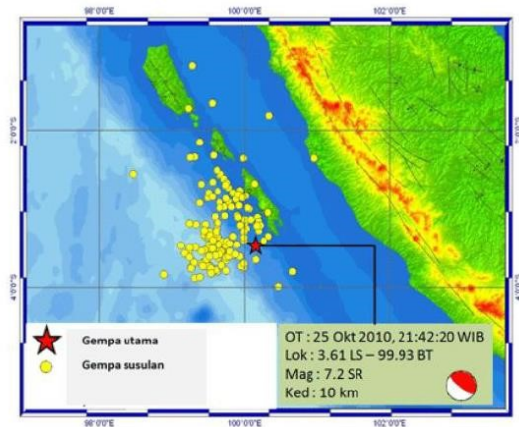
Dari penelitian di atas, penyusunan Tugas Akhir (TA) ini menerapkan metode yang sudah ada yakni menggunakan metode *DInSAR repeat 2-pass interferometry* dengan judul “Metode *Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR)* Untuk Analisa Deformasi di Daerah Rawan Bencana Gempa Bumi (Studi Kasus : Kepulauan Mentawai, Sumatera Barat)”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui deformasi *coseismic* dan *post-seismic* Kepulauan Mentawai akibat gempa 25 Oktober 2010.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Lokasi Penelitian**

Lokasi penelitian ini mengambil studi kasus Kepulauan Mentawai, Provinsi Sumatera Barat. Posisi geografis terletak pada  $0^{\circ}55'00''$  -  $3^{\circ}21'00''$  Lintang Selatan dan  $98^{\circ}35'00''$  -  $100^{\circ}32'00''$  Bujur Timur dengan luas wilayah tercatat 6.011,35 km<sup>2</sup> dan garis pantai sepanjang 1.402,66 km. Kepulauan Mentawai terletak di jalur lempeng tektonik sehingga sering terjadi gempa tektonik. Salah satu gempa besar yang terjadi pada tahun 2010 adalah gempa Mentawai dengan *magnitude* gempa 7,7 SR pada lokasi koordinat 99,93 BT; 3,61 LS dan kedalaman 10 km.



Gambar 3.1 Lokasi Gempa Mentawai 2010 (BMKG 2010)

#### **3.2 Data dan Peralatan**

##### **3.2.1. Data**

Data yang dibutuhkan dalam penelitian Tugas Akhir ini antara lain :

1. Citra satelit ALOS PALSAR Level 1.0 *Fine Beam Dual Polarization (FBD)* tanggal 29 September 2010 dan 14 November 2010. Pengambilan data ini disebabkan citra satelit ALOS PALSAR bekerja pada panjang gelombang 23,6 cm (L band) yang dapat menembus *canopy* sehingga cocok untuk mengetahui terjadinya *ground deformation* akibat gempa bumi 25 Oktober 2010 dengan metode *DInSAR*.
2. *DEM SRTM* 90 meter dengan posisi geografis 2°30'00" sampai 4°30'00" Lintang Selatan dan 99°00'00" sampai 101°00'00" Bujur Timur.
3. Data *GPS* dalam *SuGAR Network* diambil dari tanggal 22-28 Oktober 2010. Pengambilan data pada selang waktu tersebut berdasarkan kejadian *cosesismic* dan *post-seismic* akibat gempa bumi 25 Oktober 2010. Data ini digunakan untuk memvalidasi besar deformasi yang diukur dengan metode *DInSAR*.

Tabel 3.1 Stasiun Kontinyu *GPS* yang Digunakan

Stasiun GPS	Lokasi	Lintang (S)	Bujur ( E )
MKMK	Bandara Muko-Muko	2°32'33,63''	101°5'29,08''
BSAT	Bulasat, Pulau Pagai Selatan	3°04'36,13"	100°17'04.39"
PRKB	Parak Batu, Pulau Pagai Selatan	2°57'59,79''	100°23'58,5''
SLBU	Silabu, Pulau Pagai Selatan	2°45'59,04"	100°00'34.10"

4. Data titik episentrum gempa bumi Kepulauan Mentawai, Sumatera Barat yang di dapat dari <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map>. Data ini digunakan untuk mengetahui adanya kegiatan *coseismic* dan *post-seismic*.
5. Data zona subduksi dan patahan di Indonesia format *shapefile*. Data ini di-*convert* dalam format \*.kml dan kemudian dijadikan data grid pada *software GMT* dengan ekstensi data \*.csv.

### **3.2.2. Peralatan**

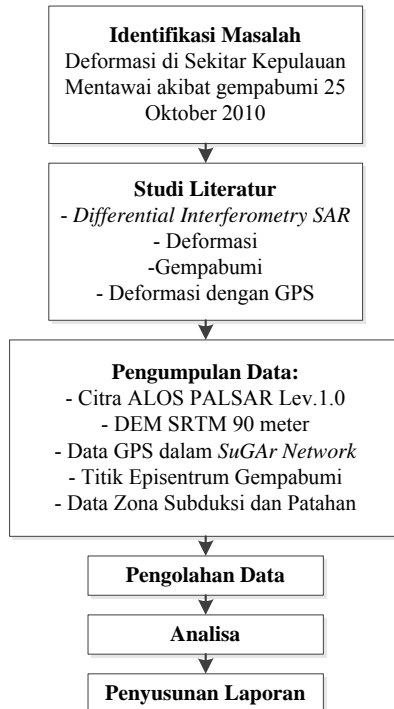
Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Perangkat Keras (*Hardware*)
  - *Notebook* Toshiba Intel core i5, memory 2.00 Gb, *harddisk* 500 Gb digunakan untuk seluruh proses pengolahan data dan penulisan laporan.
2. Perangkat Lunak (*Software*)
  - Sistem Operasi *Ubuntu 12.04 LTS* digunakan untuk menjalankan *software GMT* dan *GMTSAR*.
  - Sistem Operasi *Windows 8* digunakan untuk menjalankan *software Toopcon tools* dan pembuatan laporan.
  - *GMT* digunakan untuk *plotting* and *coding* hasil pengolahan data SAR.
  - *GMTSAR* digunakan untuk pengolahan data SAR.
  - *Toopcon tools* digunakan untuk pengolahan data GPS dalam *SuGAR Network*.
  - *Matlab 7.7.0* digunakan untuk *plotting* and *coding* hasil pengolahan data GPS.

### 3.3 Metodologi Penelitian

#### 3.3.1 Tahap Penelitian

Tahapan yang dilaksanakan dalam penelitian ini adalah :



Gambar 3.2 Diagram Alir Tahap Penelitian

Berikut adalah penjelasan diagram alir metode penelitian:

#### 1. Identifikasi Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana cara mengetahui deformasi di sekitar Pulau Mentawai akibat gempa dengan kekuatan 7.7 SR yang terjadi pada 25 Oktober 2010 dengan menggunakan data ALOS PALSAR pada 29 September 2010 dan 14 November 2010 dengan menggunakan teknik *DInSAR*.

## 2. Tahap Persiapan

Pada tahap ini, kegiatan-kegiatan yang dilakukan adalah :

- Studi Literatur

Bertujuan untuk mendapatkan referensi yang berhubungan dengan *Interferometry Synthetic Aperture Radar (InSAR)* menggunakan teknik *Differential InSAR* khususnya metode *2-pass interferometry*, *ground deformation* akibat gempa bumi, hasil pengolahan berdasarkan data *GPS* dalam *SuGAR Network* dan literatur lain yang mendukung baik dari buku, jurnal, majalah, koran, internet dan lainlain.

- Pengumpulan Data

Pengumpulan data berupa citra ALOS PALSAR pada 29 September 2010 dan 14 November 2010 yang digunakan untuk pembentukan interferogram *ground deformation* akibat gempa bumi, *DEM SRTM* 90 meter sebagai model elevasi, data *GPS* dalam *SuGAR Network* yang digunakan validasi besar deformasi, dan data titik episentrum *coseismic/post-seismic*.

## 3. Tahap Pengolahan data

Pada tahapan ini dilakukan pengolahan dari data ALOS PALSAR pada 29 September 2010 dan 14 November 2010 untuk mengetahui besarnya deformasi akibat gempa bumi berdasarkan informasi *fringes* interferogram. Hasil pengolahan selanjutnya divalidasi dengan hasil deformasi dari data *GPS* dalam *SuGAR Network*.

## 4. Tahap Analisa

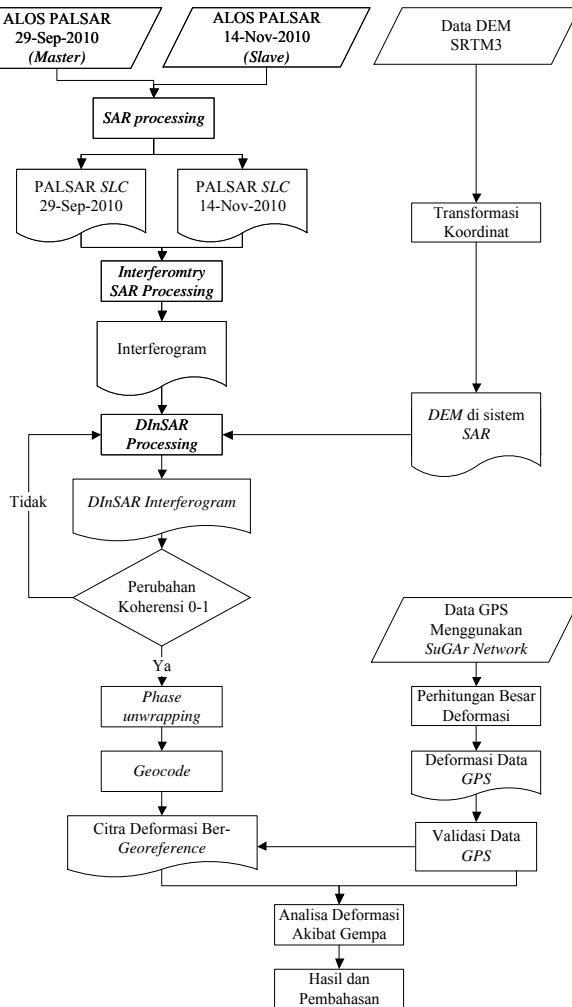
Data Citra ALOS PALSAR yang telah diolah dan divalidasi kemudian dianalisa dengan data titik episentrum gempa bumi pada tahap *coseismic* dan *post-seismic* dan data patahan serta sesar aktif yang ada di area studi kasus.

## 5. Penyusunan Laporan

Penyusunan laporan merupakan tahap akhir dari penelitian Tugas Akhir ini.

### 3.3.2 Tahapan Umum Pengolahan SAR

Dalam bentuk diagram alir, tahapan-tahapan pengolahan data SAR secara umum sebagai berikut:



Gambar 3.3 Tahap Umum Pengolahan Data SAR



Penjelasan diagram alir:

1. Data yang digunakan adalah citra ALOS PALSAR bulan September dan November 2010 yang menggunakan gelombang *microwave* dan SRTM 90 m. Citra ALOS PALSAR bulan September 2010 digunakan sebagai citra *master* dan Citra ALOS PALSAR bulan November digunakan sebagai citra *slave* sehingga didapatkan sepasang citra SAR.
2. Pembentukan *Single Look Complex (SLC)*  
 Proses ini dilakukan agar citra terkalibrasi secara radiometrik pada masukan sensornya. Hal ini disebabkan karena pada citra ALOS PALSAR (*raw data*) memiliki susunan data signal yang belum dipadatkan dan dilengkapi dengan koreksi geometrik. Proses yang dilakukan pada *SAR Processing* adalah pembacaan parameter SAR, *Radar Signal Processing*, dan *Range* dan *Azimuth Compression*.
3. *Interferometry SAR Processing*  
 Setelah sepasang citra dalam format *SLC*, tahap selanjutnya dilakukan *Interferometry SAR Processing* yang bertujuan membentuk *raw* citra interferogram dari sepasang data *SLC*. *Raw* interferogram merupakan citra beda *phase* antara citra *master* dan *slave*, dimana informasi ini berhubungan langsung dengan bentuk topografi namun masih terdapat unsur deformasi, *noise* dan atmosfer. Pada tahapan ini dilakukan pencarian area tampalan, pendataran (*flattening*), dan *resample* parameter.
4. *Differential InSAR Processing*  
*Differential InSAR Processing* yaitu pendataran, penghapusan topografi dan *filtering*. Metode yang digunakan dalam penghapusan efek topografi ini adalah *two-pass differential interferometry*. Data yang digunakan pada tahapan ini adalah citra interferogram dan interferogram *SRTM DEM*. Data interferogram *SRTM DEM* didapatkan dari hasil generalisasi dalam *amplitude* dan *phase* yang selanjutnya dimodelkan menjadi data pengamatan SAR.

5. Hasil *DInSAR processing* memiliki nilai koheren diantara 0-1, dimana nilai yang mendekati 1 adalah koheren terbesar diantara dataset.
6. Tahapan *phase unwrapping*  
Citra yang dihasilkan dari *DInSAR processing* masih dalam satuan radian (satuan *phase* sudut) dalam rentang  $-\pi$  sampai dengan  $\pi$ . Walaupun pola defomasi sudah dapat terlihat, namun informasi besar deformasi tersebut belum dapat dibaca dengan baik. Untuk mendapatkan citra deformasi yang memiliki nilai dalam satuan metrik, maka harus dilakukan proses *unwrapping* dan merubah satuan sudut *phase* absolut menjadi satuan metrik.
7. *Post-processing*  
Tahapan akhir dari penentuan final interferogram yang sudah melalui proses pendataran (*flattening*), penghapusan topografi, *filtering*, *unwrapping* dan proses *geocoding* sehingga interferogram yang didapat sudah *georeference*, artinya posisi suatu piksel memiliki posisi di permukaan bumi atau model deformasi posisinya sudah diketahui di permukaan bumi. Proses *geocoding* menggunakan *SRTM* 90 meter.
8. Validasi Besar Deformasi dengan *GPS*  
Setelah didapatkan peta ber-*georeference* pengolahan *SAR* langkah selanjutnya adalah melakukan validasi besar desormasi dari data *SAR* menggunakan data *GPS* dalam *SuGAR Network*.
9. Analisa Deformasi  
Untuk mengetahui terjadi deformasi horizontal (X,Y) dan vertikal (H) antara hasil pengolahan *SAR* dengan *GPS* di setiap stasiun *GPS*.

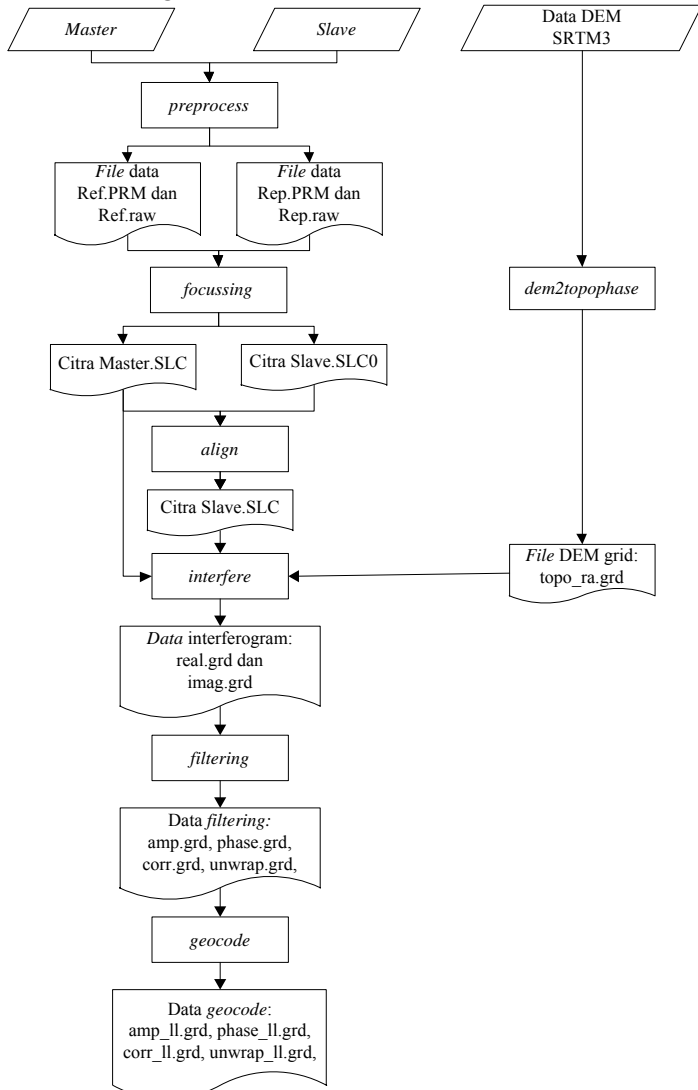
### 3.3.3 Detil Tahap Pengolahan Data SAR Pada GMTSAR

- Sekilas Tentang *GMTSAR*

*GMTSAR* (*Generic Mapping Tools Synthetic Aperture Radar*) adalah *software open source* (*GNU General Public License*) yang memberi kesempatan untuk para peneliti dalam melakukan penelitian terkait area topografi dan perubahan permukaannya melalui aplikasi teknologi geodesi yaitu *Interferometric Synthetic Aperture Radar* (*InSAR*). *Software* ini dapat dijalankan dalam *platform* apa saja yang telah terpasang *software GMT* dan *NetCDF*. Pembuat *software* ini adalah David Sandwell, Rob Mellors, Xiaopeng Tong, Meng Wei, dan Paul Wessel. Semula bahasa pemrograman yang digunakan adalah Fortran kemudian ubah menjadi bahasa C agar dapat dijalankan di berbagai *platform*. Program ini dapat diunduh dari <http://topex.ucsd.edu/gmtsar>. Terdapat tiga komponen utama:

1. *preprocessor*, digunakan untuk mengkonversi format data CEOS ke format data turunan.
2. *InSAR processor*, melakukan pengolahan *InSAR* seperti memfokuskan dan menata citra, mengkonversi data topografi menjadi data *phase*, dan membentuk interferogram kompleks.
3. *postprocessor*, mayoritas menggunakan *GMT* seperti memfilter interferogram, membentuk produk interferogrametik *phase*, koherensi, beda *phase*, pergeseran *LOS* dalam sistem koordinat radar dan geografis. *GMT* digunakan untuk menampilkan semua produk tersebut dalam *postscript* dan citra *kml* untuk *GoogleEarth*.

- Proses Pengolahan Data



Gambar 3.4 Diagram Pengolahan Data Pada GMTSAR

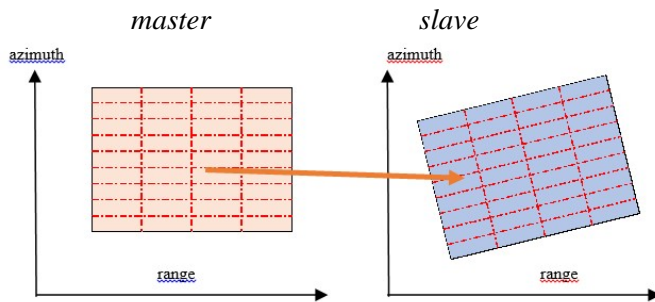
Penjelasan tahap pengolahan data SAR dengan GMTSAR:

1. Tahap *preprocess*

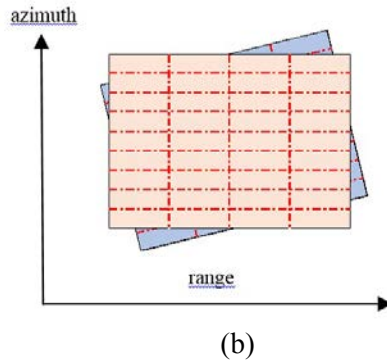
Tahap ini dilakukan untuk mendapatkan informasi orbit dan mengetahui parameter *ascii file* yang berisi parameter untuk *InSAR processing* dengan mengekstrak *orbital satellite* dan kecepatannya dari *leader file \*.LED*, *image alignment*, dan mengestimasi *doppler centroid* dari data *raw* yang terdapat pada masing-masing data SAR. Tahap *preprocess* dilakukan melalui komen *pre\_proc.csh* pada terminal. Akan didapatkan file *\*.PRM* dan *\*.raw* untuk setiap *scene* data SAR. Hasil parameter *preprocess* lihat pada lampiran 1.

2. Tahap *focus* dan *align*

Tahap *focus* dilakukan untuk membuat citra *SLC* dari masing-masing data SAR. Sedangkan tahap *align* dilakukan untuk mencari area tampalan dan parameter yang didapatkan dari tahap *preprocess* oleh citra *master* terhadap citra *slave*.



(a)



Gambar 3.5 Ilustrasi Tahap (a) *Focus* Pada Citra *Master* dan *Slave* dan (b) *Align* dari Citra *Slave*

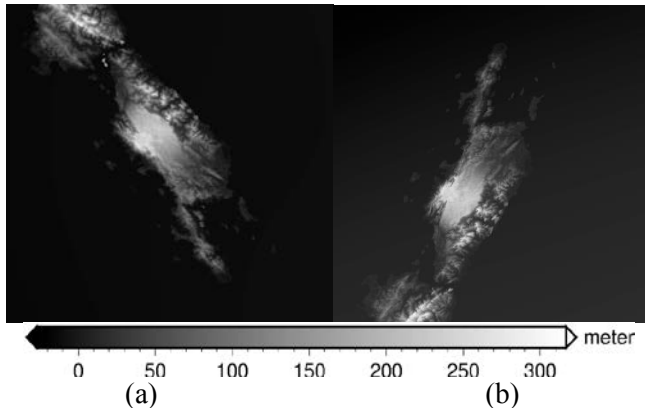
Tahap *focus* dan *align* dilakukan melalui komen *align.csh* pada terminal. Akan didapatkan file \*.SLC. Selain dua citra SLC, tahapan ini juga menghasilkan sebuah file yang berisi informasi tentang hasil koregistrasi.

### 3. Tahap Transformasi Koordinat (*dem2topophase*)

*DEM* yang digunakan adalah *DEM SRTM3* yang memiliki sistem koordinat geografis. Pemrosesan yang dilakukan mayoritas dalam sistem koordinat radar, maka harus dilakukan transformasi dari sistem koordinat geografis ke sistem koordinat radar. Selain itu, penghitungan beda *phase* pada interferogram yang akan dihasilkan akan memberikan hasil yang lebih baik apabila proses pengurangannya berada dalam sistem koordinat radar. (Sidiq 2009).

Tahap ini dilakukan untuk mentransformasi data *DEM* berekstensi \*.*grd* yang memiliki koordinat geografis ke dalam koordinat radar (*range* dan *azimuth*). Tahap *dem2topophase* dilakukan melalui komen *dem2topo\_ra.csh*. Hasil dari tahapan ini ada tiga jenis data, yaitu:

- a. data *topo\_ra.grd*, merupakan koordinat *range* dan *azimuth* dalam sistem radar.
- b. *postscript image dem.ps* dan *topo\_ra.ps*.
- c. data *trans.dat*, merupakan koordinat sekutu antara radar dan *DEM* yakni koordinat *range, azimuth* dan koordinat geografis



Gambar 3.6 Tampilan *DEM* (a) Berkoordinat Geografis dan (b) Berkoordinat Radar

#### 4. Tahap *interfere*

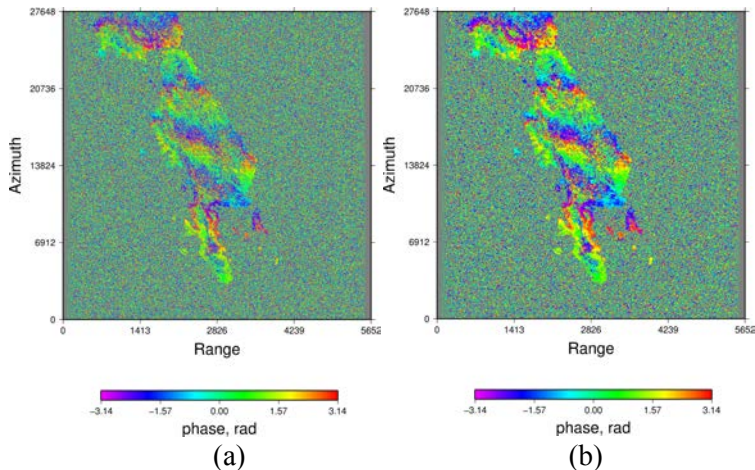
Tahap ini dilakukan untuk membuat interferogram dan secara bersamaan mengurangi efek topografi dengan menggunakan *DEM* yang ada. Tahap *interfere* dilakukan melalui komen *intf.csh*. Tahapan tersebut akan menghasilkan dua file yaitu *imag.grd* dan *real.grd* yang kemudian dihapus setelah tidak diperlukan lagi.

#### 5. Tahap *filtering*

Tahap ini dilakukan untuk menaikkan nilai *signal noise ratio* (*SNR*) yang terdapat pada interferogram. Jenis *filtering* yang digunakan oleh *GMTSAR* adalah metode Gaussian. Terdapat beberapa jenis filter yang bervariasi dari 100 m

hingga 700 m. Dari tahap pemfilteran ini, diperoleh *file* interferogram sebelum dan setelah *filtering*. Tahap *filtering* dilakukan melalui komen *filter.csh*. Hasil dari tahapan ini ada tiga jenis, yaitu:

- d. data *display\_amp.grd* dan *display\_amp.ps*, merupakan citra interferogram *amplitude*.
- e. data *phase.grd* dan *phase.ps*, merupakan citra interferogram *phase*.
- f. data *corr.grd* dan *corr.ps*, merupakan citra interferogram *correlation*.



Gambar 3.7 Interferogram *Phase* (a) Sebelum *Filtering* dan (b) Setelah *Filtering*

Berikutnya, untuk dapat menghitung besarnya *displacement* pada citra tersebut, harus dilakukan proses yang dinamakan *unwrapping*.

#### 6. Tahap *snaphu* (*unwrap processing*)

Citra yang dihasilkan dari proses *interfere* dan *filtering* masih dalam satuan radian (satuan *phase* sudut) dalam rentang



$-\pi$  sampai dengan  $\pi$ . Tahap *snaphu* dilakukan melalui komen *snaphu.csh*.

7. Tahap *geocode*

Tahap *geocode* dilakukan melalui komen *geocode.csh*. Dengan kemampuan *software GMT*, hasil tersebut dapat ditampilkan dalam bentuk *phostscript* dan *kml Google Earth*. Walaupun telah bergeoreferensi, grid, skala, dan informasi lainnya belum ada. Untuk itu, *skill* menggunakan *GMT* perlu dilakukan sehingga diperoleh hasil yang artistik akan ditampilkan di bagian hasil.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## **BAB IV**

### **HASIL DAN ANALISA**

#### **4.1 Citra SAR Kepulauan Mentawai**

##### **4.1.1 Umum**

Dalam pengolahan data *SAR* untuk mengetahui *ground deformation* Kepulauan Mentawai akibat gempa bumi digunakan dua data observasi *SAR*, yaitu data sebelum dan sesudah terjadi gempa bumi. Pengolahan hanya menggunakan dua data *SAR* karena pola deformasi akan terlihat jelas pada proses *co-sesismic* dan *post-seismic*.

Hasil pengolahan data *SAR* tersebut adalah sebuah citra interferogram yang menggunakan metode *differential repeat 2-pass interferometry*. Menurut Indra (2011) dengan metode ini pengaruh kesalahan *DEM* akan terbawa pada hasil deformasi karena *phase* akhir dari *phase* interferogram masih mengandung *phase* topografi.

##### **4.1.2 Citra Data SAR Kepulauan Mentawai**

Pengamatan *ground deformation* Kepulauan Mentawai menggunakan citra ALOS PALSAR sebanyak dua buah dengan akuisisi data pada bulan September - November 2010 level 1.0. Level 1.0 merupakan pengolahan yang dilakukan oleh *CEOS (Committee on Earth Observation satellites)* dengan membagi data menjadi *scene-scene* tertentu (JAXA, 2006) dengan jenis polarisasi *FBD (Fine Beam Dual-Polarization)* atau polarisasi rangkap dua (HH dan HV).

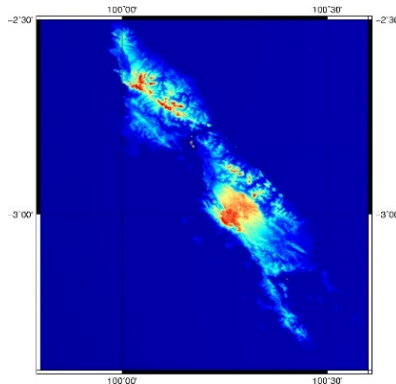
Tabel 4.1 Informasi Citra ALOS PALSAR Kepulauan Mentawai

No	Nama Citra	Perekaman	Orbit	Frame	Arah
1	IMG-HH-ALPSRP249377120-	29-Sep-10	24937	7120	<i>Ascending</i>
2	IMG-HH-ALPSRP256087120-	14-Nov-10	25608	7120	<i>Ascending</i>

#### 4.1.3 DEM Kepulauan Mentawai

Pada metode *DInSAR*, *DEM* digunakan untuk proses *differential 2-pass interferometry*. *DEM* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *DEM* dari *SRTM3*.

*DEM SRTM3* memiliki ketelitian horizontal  $0,00083^\circ$  sebanding dengan  $\sim 90$  m dan ketelitian vertikal tidak melebihi 16 m. *DEM* ini diunduh dari website <http://topex.ucsd.edu/gmtsar/demgen> dengan memasukkan batas-batas *DEM* yang dibutuhkan, yaitu barat  $99,5^\circ$ , timur  $100,75^\circ$ , utara  $-2,5^\circ$ , dan selatan  $-3,75^\circ$  pada bagian yang sesuai. Tampilan dari *DEM* tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah.



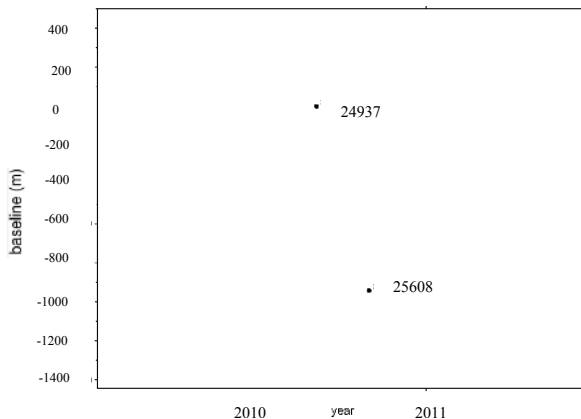
Gambar 4.1 *DEM SRTM3* Kepulauan Mentawai

Kegunaan *DEM SRTM3* adalah untuk mengurangi *phase* topografi yang terdapat pada *phase* interferogram untuk mendapatkan *phase* deformasi (Hanssen 2001). *Phase* topografi yang ada tidak sepenuhnya hilang karena resolusi citra *SAR* dan *DEM* berbeda. *DEM SRTM3* disimulasikan dengan menggunakan data parameter dari citra *master* yang terbentuk dari tahap *preprocess* pengolahan data *SAR*. Simulasi ini merepresentasikan kondisi *DEM* saat dilakukan akuisisi data pada citra *master*.

## 4.2 Hasil Pengolahan Data *InSAR*

### 4.2.1 Panjang *Baseline* dan Interval Waktu

Untuk mengetahui penyebaran titik orbit dari data pengamatan *SAR*, dapat memilih *baseline perpendicular* pendek ( $\leq 150$  m) (Ferreti dkk 2007) maupun temporalnya. Hal ini untuk mendapatkan koherensi yang tinggi antara kedua citra tersebut, sehingga pada tahapan selanjutnya yaitu *interferogram generation* akan menghasilkan pola *fringes* yang baik.

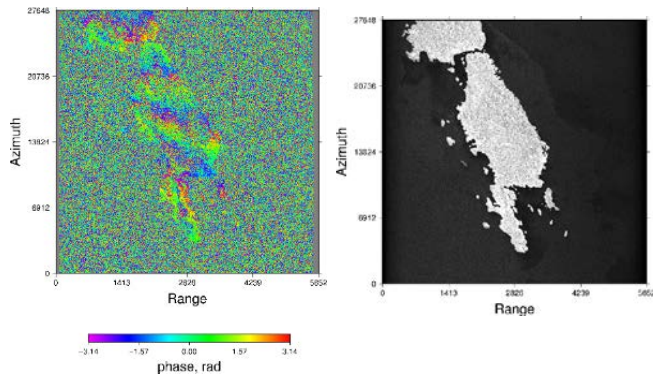


Gambar 4.2 *Plotting Baseline Perpendicular* Sumbu X Sebagai Waktu (Tahun) dan Sumbu Y Sebagai Panjang *Baseline* (m)

Dari tahap *pre-process* mendapatkan panjang *baseline perpendicular* -943,651 m dengan beda waktu pengamatan (*baseline temporal*) 46 hari.

#### 4.2.2 Interferogram Phase dan Amplitude

Citra *SLC* terbentuk menjadi interferogram *phase* dan *amplitude* dengan tahapan mencari area tampalan (*offset*), registrasi, dan komputasi. Akan tetapi, dengan menggunakan *software GMTSAR*, citra *SLC* tidak dapat ditampilkan.

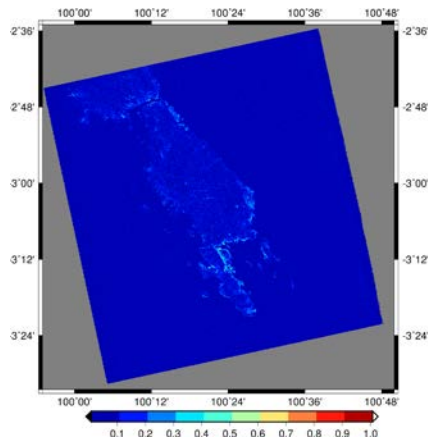


(a) (b)  
Gambar 4.3 Citra Interferogram Kepulauan Mentawai  
(a) *phase* dan (b) *amplitude*

Hasil Interferogram *phase* dan *amplitude* dapat dilihat pada Gambar 4.3 adalah interferogram yang telah dikurangkan dengan efek topografi yang berupa citra *phase* dan *amplitude* dalam sistem koordinat radar.

#### 4.2.3 Koherensi Citra SAR

Untuk melihat tingkat koherensi citra secara kualitatif dapat dilihat dari citra koherensi.



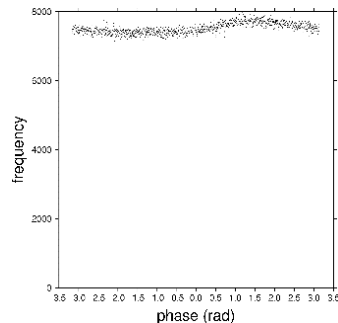
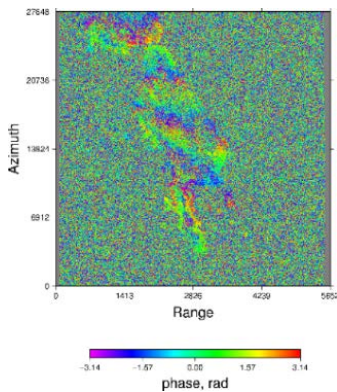
Gambar 4.4 Interferogram Citra Koherensi

Pada Gambar 4.4, *scalebar* dengan objek *water bodies* di sekeliling Kepulauan Mentawai akan menunjukkan warna biru dengan nilai koherensi lebih kecil dari 0,1 sampai mendekati 0. Hal ini disebabkan karena *water bodies* bergerak terus menerus secara konstan. Akibatnya rona warna citra koherensi yang didapat menuju rona gelap (*scalebar* bergerak ke arah kiri). Pada daratan memiliki koherensi antara 0,2 – 0,4. Rendahnya koherensi ini karena sebagian besar area studi kasus memiliki kerapatan vegetasi yang tinggi. Kerapatan vegetasi ini akan mempengaruhi nilai koherensi citra karena pergerakan dan perubahan vegetasi akan berpengaruh pada pantulan *backscatter*-nya. Hasil citra koherensi Kepulauan Mentawai rendah juga disebabkan oleh panjang *baseline* antar dua pengamatan yang besar. Apabila citra koherensi memiliki tingkat koherensi yang tinggi, maka *scalebar* pada Gambar 4.4 di atas akan menuju warna terang (*scalebar* bergerak ke arah kanan).

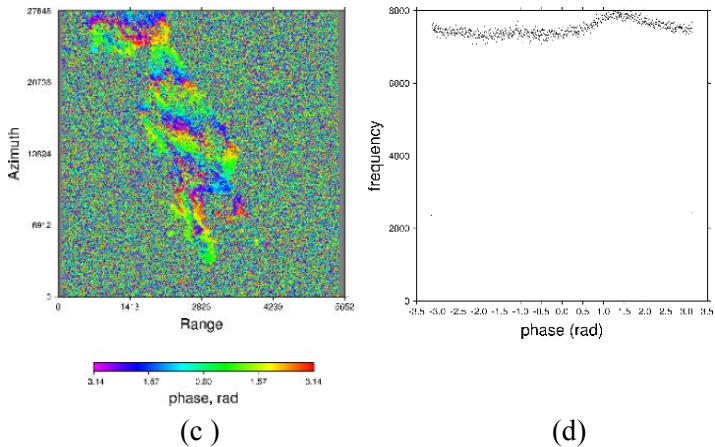
#### 4.2.4 Citra Interferogram Setelah *Filtering*

*Filtering* adalah menaikkan nilai SNR (*Signal Noise Ratio*) yang terdapat pada interferogram dikarenakan pengaruh dari penjararan sinyal kembali ke medium udara atau atmosfer. Tujuan utama proses ini adalah mempertajam area-area yang nilai koherensinya masih relatif besar. Pemfilteran interferogram terhadap gangguan *noise* atau gangguan *phase* dengan menggunakan *gauss\_alos\_200m* yang merupakan *default* dari *software GMTSAR*. Filter ini dipilih karena mampu memberikan hasil yang baik dengan waktu yang relatif cepat. Selain *filtering*, *software GMTSAR* juga melakukan penghapusan efek berdasarkan nilai koherensi tertentu yang dipilih.

Pada Gambar 4.5(a) hasil interferogram sebelum *filtering* menunjukkan adanya *noise* yang relatif besar pada area yang masih memiliki tingkat koherensi tinggi. Dapat dilihat pada Gambar 4.5(b) grafik *phase* hasil interferogram sebelum *filtering*. Interferogram setelah *filtering* Gambar 4.5(c) menunjukkan peningkatan ketajaman area yang masih memiliki koherensi yang tinggi. Terdapat perubahan grafik hasil *filtering* sesudah proses ini (Gambar 4.5(d)).







Gambar 4.5 (a) Citra Interferogram Sebelum *Filtering*, (b) Grafik *Phase* Sebelum *Filtering*, (c) Citra Interferogram Setelah *Filtering*, dan (d) Grafik *Phase* Setelah *Filtering*

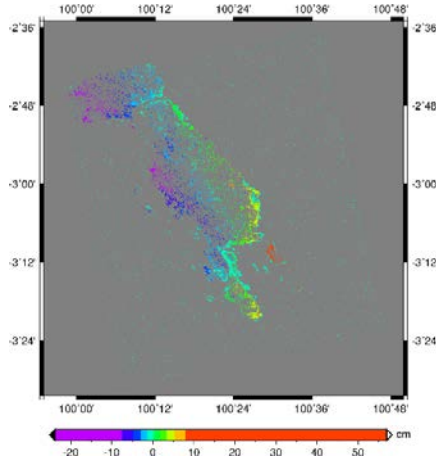
Setelah proses *filtering* selesai, interferogram menunjukkan adanya deformasi tetapi masih dalam satuan *phase* (radian). Informasi ini terbatas antara  $-\pi$  dan  $\pi$ , sehingga menimbulkan masalah ambiguitas *phase* dalam menghitung siklus *phase*. Untuk menyelesaikan masalah tersebut dilakukan proses *unwrapping* yaitu merupakan proses untuk menghilangkan ambiguitas *phase* sehingga didapatkan *phase* absolut

#### 4.2.5 Citra Interferogram Setelah *Unwrapping*

Setelah interferogram di *unwrap* pola deformasi area sudah dapat diketahui meski masih dalam satuan *phase*. Untuk mengetahui besar deformasi dalam satuan metrik dilakukan kalkulasi dengan menggunakan rumus *displacement of earth's surface* sepanjang sensor *Line of Sight (LOS)*, yaitu (Zebker dan Goldstein 1986, lihat juga pada Ng 2008):

$$\Delta\phi_{defo} = 4\pi\delta R/\lambda$$

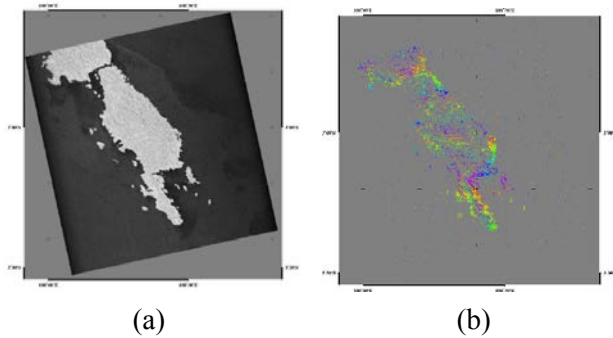
Dimana  $\lambda$  adalah panjang gelombang SAR dan  $\Delta\phi_{defo}$  adalah nilai perbedaan *phase*.

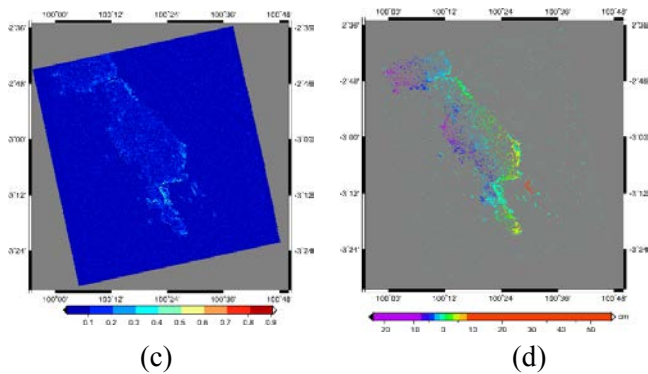


Gambar 4.6 Interferogram Setelah *Unwrap* dan *Geocode*

#### 4.2.6 Interferogram Setelah *Geocode*

Tahapan akhir ini adalah meng-*georeference*-kan citra *amplitude*, *phase* setelah *filtering* dan *masking*, koherensi, dan citra hasil *unwrap*.



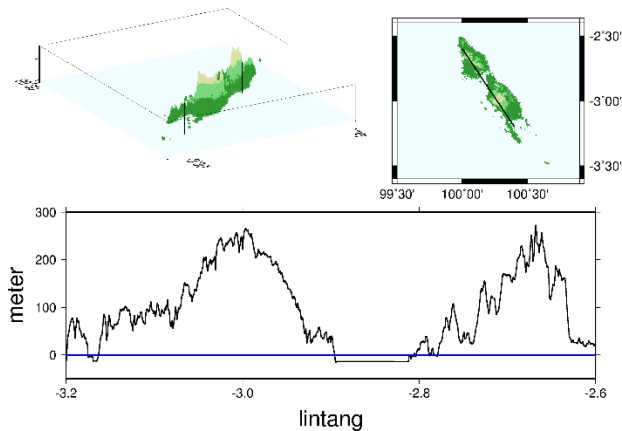


Gambar 4.7 Citra SAR yang Ber-Georeference (a) *Amplitude*, (b) *Phase* Setelah *Filtering* dan *Masking*, (c) *Koherensi*, dan (d) *Unwrap*

### 4.3 Analisa Pengolahan *InSAR*

#### 4.3.1 Geometri Pencitraan Studi Kasus

Kondisi geografis dan alam Kepulauan Mentawai sebagian besar merupakan kawasan hutan. Total kawasan hutan (terdiri dari hutan lebat, hutan sejenis, semak belukar) memiliki persentase terbesar 512.044 hektar atau 85,19 % dari luas wilayah Kepulauan Mentawai. Luas lahan untuk pemukiman atau rumah hanya sebesar 3.042 hektar atau 0,51 % dari total luas wilayah (Anonim 2012). Hal ini apabila dihubungkan dengan citra koherensi seperti yang tampak pada Gambar 4.4 daerah yang mengandung banyak *noise* memiliki nilai koherensi yang rendah. Hal tersebut disebabkan oleh tutupan lahan di Kepulauan Mentawai sangat tinggi, sehingga laju pertumbuhan vegetasi dengan periode 46 hari menyebabkan sinyal pantulan dari daerah tersebut memiliki karakteristik yang sangat berbeda. Secara topografi, keadaan geografis Kepulauan Mentawai antara dataran, sungai, dan berbukit-bukit (Anonim 2012).



Gambar 4.8 Topografi Kepulauan Mentawai dari Data *DEM SRTM3*

Hasil *plotting* topografi Kepulauan Mentawai dengan *GMT* dari data *DEM SRTM3* menunjukkan relief topografi yang bervariasi. Hal tersebut akan memberikan pengaruh terhadap hasil citra *SAR*. Arah pencitraan radar yang kesamping menyebabkan adanya perbedaan representasi topografi pada citra radar sehingga menyebabkan distorsi berupa *layover*, *shadow*, dan *foreshortening*. Distorsi tersebut sangat dipengaruhi oleh dua hal yaitu *incidence angle* dari *SAR* dan juga *local slope* dari daerah yang dicitrakan (Hanssen 2001). Pengaruh dari *layover*, *shadow*, dan *foreshortening* akan memberikan efek kepada proses *unwrapping* dan kembalinya sinyal pantul ke sensor radar. Kesalahan pada proses *phase unwrapping* memberikan pengaruh terhadap hasil pemantauan deformasi. (Indra 2011)

#### 4.3.2 **Keakurasian Estimasi Panjang Baseline**

Panjang *baseline* merupakan faktor terpenting dalam mengukur besar *surface deformation* dengan

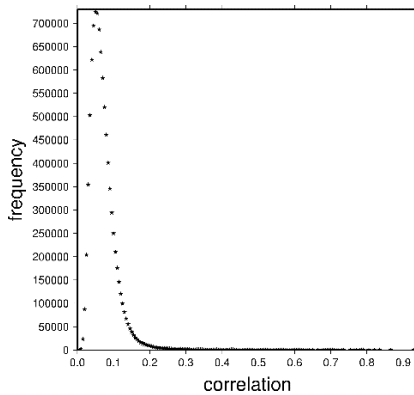
*InSAR*. Berdasarkan perhitungan estimasi panjang *baseline perpendicular*, sepasang data *SAR* Kepulauan Mentawai 20100929\_20101114 memiliki panjang *baseline* -943,651 m.

Apabila *baseline perpendicular* antara citra *master* dan *slave* semakin panjang maka tingkat koherensi citra akan terus menurun karena semakin jauh perbedaan posisi satelit dalam melakukan pencitraan maka nilai dari *incidence angle* antar kedua posisi satelit juga akan semakin berbeda. Hal tersebut akan mengakibatkan karakteristik objek pada dari kedua posisi semakin berbeda, yang dapat menimbulkan *low coherence value*. Apabila *baseline temporal* semakin besar mengakibatkan *temporal decorrelation* karena adanya perubahan pada topografi, vegetasi, dan juga pada atmosfer yang akan mengakibatkan perubahan pada karakteristik objek yang diamati.

#### **4.3.3 Nilai Koherensi Citra**

Disebutkan pada pembahasan sebelumnya bahwa nilai koherensi suatu citra berada antara 0-1. Proses *interferometry* dapat dikatakan sukses dan akurat apabila nilai koheren citra koherensi antara 0,5-1. Apabila nilai koheren dibawah 0,5, citra hasil *interferometry* masih menghasilkan informasi yang berarti, akan tetapi hasil interferogram juga menampilkan peningkatan level *noise* yang sebanding dengan semakin kecilnya nilai koheren citra (*TRE Sensing the Planet* \_\_\_\_). Pada Gambar 4.4 menunjukkan bahwa besar koherensi dari citra koherensi sangat rendah ( $< 0,5$ ).

Berdasarkan hasil pengolahan data *SAR* didapatkan nilai koherensi keseluruhan citra *SAR* berada pada rentang 0,009-0,940.



Gambar 4.9 Grafik Besar Koherensi

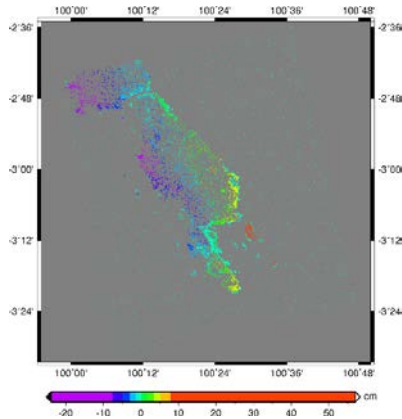
Berdasarkan Gambar 4.9 dapat disimpulkan hasil *plotting* besar koherensi citra rata-rata adalah antara 0,1–0,2. Rendahnya nilai koherensi ini menyebabkan banyaknya piksel yang kosong setelah citra melalui proses *unwrap*.

#### 4.3.4 **Besar Deformasi Setelah *Unwrap Processing***

Selama akuisisi citra *SAR* tanggal 29 September 2010 dan 14 November 2010 terjadi sebuah gempa pada tanggal 25 Oktober 2010. Hasil pengolahan sepasang citra tersebut adalah citra *Differential InSAR* 20100929\_20101114. Deformasi yang terjadi pada tahapan *coseismic* dan *post-seismic* ini dapat diketahui berdasarkan hasil citra *unwrap*.

*Proses unwrapping* menghitung perbedaan *phase* pada interferogram dari satu titik ke titik berikutnya dan meng-generalisasinya menjadi perbedaan *phase* yang lebih halus. Apabila area relatif datar (tanpa atau perbedaan *phase jump* kecil antar titik), proses *unwrap* mudah untuk dilakukan. Akan tetapi jika area studi memiliki bentuk topografi yang beragam (perbedaan

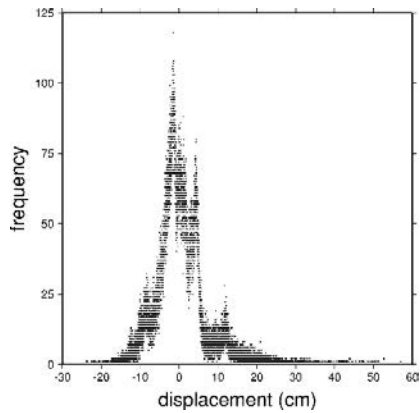
*phase jump* besar) maka proses *unwrap* akan sangat sulit dilakukan. Pada Gambar 4.10 menunjukkan hasil *unwrap* besar *displacement* Kepulauan Mentawai selama tahapan *coseismic* dan *post-seismic*.



Gambar 4.10 Hasil Citra *Unwrap* dalam Metrik

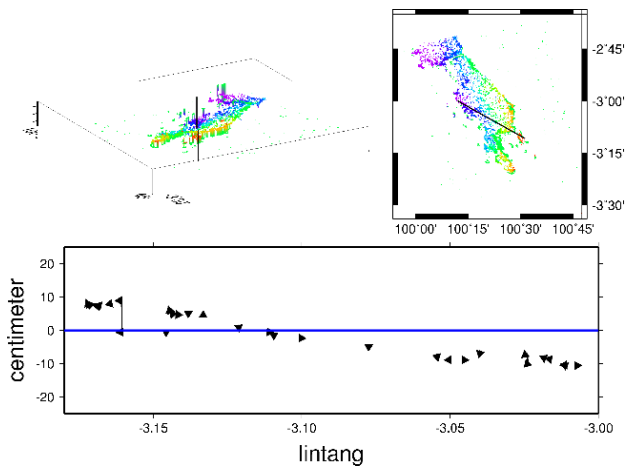
Pada *scalebar*, warna *violete* pada citra hasil *unwrap* menunjukkan terjadi penurunan (*sudsidence*) pada area studi kasus. Area tidak mengalami atau hampir tidak mengalami *subsidence* atau *uplift* yang ditunjukkan dengan warna *skyblue*. Apabila rona warna bergerak dari *skyblue* ke *orange* (semakin ke kanan) menunjukkan kenaikan muka tanah (*uplift*).

Untuk memudahkan menafsirkan besar *displacement* selama tahapan *coseismic* dan *post-seismic*, dapat dilihat pada Gambar 4.11 bahwa besar *displacement* berada pada rentang -20 cm sampai 20 cm. *Displacement* sering terjadi *subsidence* pada rentang -20 cm sampai -5 cm dan terjadi *uplift* sebesar 5 cm sampai 20 cm. Kedua hal ini dapat dilihat dari tingkat ketebalan diagram. Diagram yang tebal menunjukkan intensitas *subsidence* dan *uplift*.



Gambar 4.11 Grafik *Unwrap*

Untuk melihat sebaran deformasi di Kepulauan Mentawai berdasarkan hasil *unwrap* dilakukan *cross section* atau irisan melintang pada area-area yang mengalami *subsidence* atau *uplift*. Pada Gambar 4.12 menunjukkan kecenderungan area studi kasus mengalami *subsidence*.



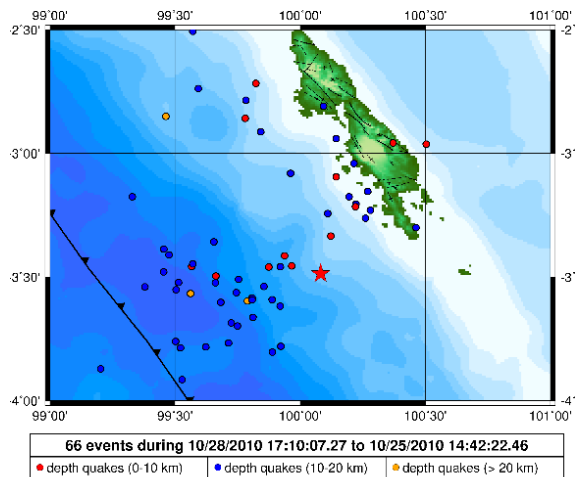
Gambar 4.12 *Displacement* Hasil *Unwrap*



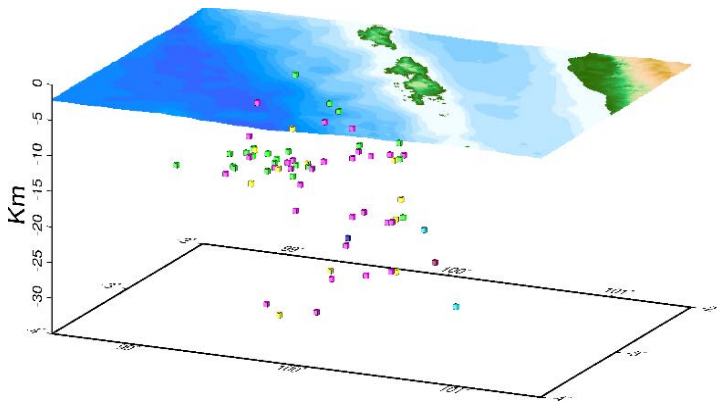
Pada citra interferogram *phase* (Gambar 4.3), menunjukkan pola deformasi yang jelas, akan tetapi citra hasil *unwrap* (Gambar 4.10) tidaklah demikian. Banyaknya piksel yang kosong menyulitkan dalam pembacaan besar deformasi dikarenakan pada tahap *filtering* dan *unwrap*, *phase* yang kecil dihilangkan. Hal ini dipengaruhi topografi Kepulauan Mentawai yang beragam (Gambar 4.8) dan panjang *baseline* citra *SAR* yang mendekati ambang batas dekorelasi *baseline*.

#### 4.4 Analisa Potensi Area Terdeformasi Berdasarkan Besar Magnitude Gempa

Gempa bumi yang terjadi pada tanggal 25 Oktober 2010 di Kepulauan Mentawai mempunyai kekuatan 7,8 SR yang ditunjukkan dengan warna bintang merah. Gambar 4.13 memperlihatkan *magnitude* gempa mulai dari skala 4 SR pada tahapan *coseismic* dan *post-seismic*.



(a)

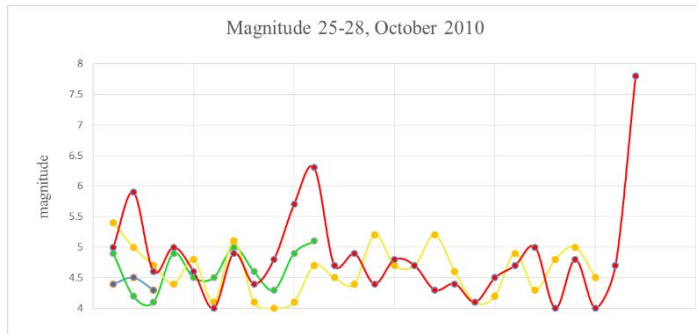


(b)

Gambar 4.13 *Plotting Magnitude Gempa*  
(a) 2D dan (b) 3D

Pada Gambar 4.13 terdapat 66 buah gempa dari skala 4 SR dengan kedalaman gempa mulai dari 0 km sampai >20 km selama 25-28 Oktober 2010. Dapat dilihat di sepanjang garis pantai Kepulauan Mentawai bagian barat terjadi gempa susulan dengan kedalaman 10 km hingga >20 km.

Intensitas gempa selama tahap *coseismic* dan *post-seismic* ditunjukkan pada Gambar 4.14. Selama tahap *coseismic* terjadi beberapa gempa susulan dengan *magnitude* bervariasi yang relatif besar. Sedangkan pada tahap *post-seismic* gempa susulan dengan *magnitude* yang relatif kecil. Gempa ini menurut klasifikasi kedalaman gempa termasuk gempa dangkal. Hal ini dikarenakan pusat gempa memiliki kedalaman <100 km (Munir 2003). Gempa ini membangkitkan tsunami karena selain tergolong gempa dangkal juga memiliki *magnitude* besar dan pusat gempa berada di laut.

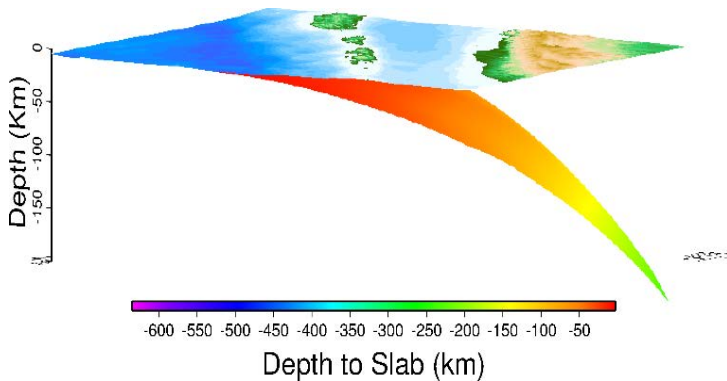


Gambar 4.14 Grafik Intensitas Gempa Bumi

Keterangan:

- 25 Oktober 2010 (Gempa Bumi Utama)
- 26 Oktober 2010
- 27 Oktober 2010
- 28 Oktober 2010

Gempa bumi terjadi pada zona awal penunjaman (subduksi) lempeng Indo-Australia terhadap lempeng Eurasia di Samudra India yang dikenal dengan zona *megathrust*. Hal ini mengindikasikan bahwa gempa yang terjadi di Kepulauan Mentawai akibat aktifitas jalur lempeng tektonik yang ada di bawah kepulauan tersebut. Berdasarkan bentuk morfologi dan posisinya terhadap daerah penunjaman, maka dapat diduga bahwa daerah pantai barat Kepulauan Mentawai merupakan daerah yang memiliki resiko kebencanaan geologi yang tinggi. Dapat dilihat pada Gambar 4.15 kedalaman *slab subduction* didekat Kepulauan Mentawai  $\pm 50$  km.



Gambar 4.15 *Slab Subduction* Kepulauan Mentawai

Gempa bumi sangat berhubungan erat dengan perubahan bentuk tanah yang disebut dengan deformasi dengan demikian dapat disimpulkan pada wilayah barat Kepulauan Mentawai rentan terjadi deformasi akibat gempa bumi dibandingkan wilayah Kepulauan Mentawai bagian timur.

#### 4.5 Analisa Kondisi Geologi

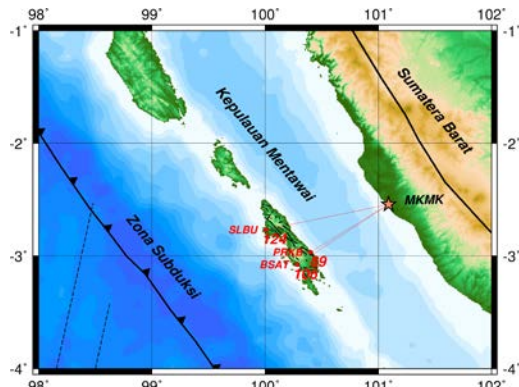
Berdasarkan tatanan tektonik regional, Sumatera dan sekitarnya merupakan suatu tepian aktif di *Sundaland* yang memiliki pergerakan relatif ke arah timur-timur laut dengan kecepatan 7,7 cm/tahun.

Menurut hasil penelitian Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral RI, Kondisi Geologi Pesisir Selatan dan sekitarnya tersusun oleh aluvium dan batuan vulkanik berumur Kuarter serta batuan sedimen berumur Tersier. Aluvium dan batuan vulkanik Kuarter mempunyai sifat lepas, urai, belum terkompaksi dengan baik. Batuan sedimentasi akan memiliki *shake* (guncangan) yang besar pada saat terjadi gempa namun akan kembali ke bentuk semula dengan cepat juga. Kondisi ini yang memperkuat efek guncangan dari gempa bumi.

#### 4.6 Besar Deformasi Hasil Pengolahan Data GPS Dalam Sumatran GPS Array (SuGAR) Network

*SuGAR Network* adalah jaringan stasiun *GPS* di sepanjang batas lempeng Sumatera. Pada agustus 2005 *SuGAR Network* terdiri dari 24 stasiun permanen *GPS* yang digunakan untuk *me-record* pergerakan disepanjang batas lempeng sumatera hingga sub-sentimeter.

Hasil pengolahan data *GPS* dalam penelitian ini bersifat lokal sehingga besar deformasi pada area studi kasus relatif terhadap letak stasiun *GPS* yang digunakan sebagai *base* yakni stasiun *GPS* MKMK yang terletak di provinsi Sumatera Barat, sedangkan yang digunakan sebagai *rover* adalah stasiun BSAT, PRKB, SLBU yang terletak di Kepulauan Mentawai. Hasil *plotting* dengan menggunakan *software GMT* jarak dari masing-masing *rover* ke *base* adalah 124 km (SLBU-MKMK), 89 km (PRKB-MKMK) dan 106 km (BSAT-MKMK).



Gambar 4.16 *Plotting* Jarak dari *Base-Rover*

Berdasarkan Tabel 4.2 dapat diketahui pola pergeseran deformasi dalam sentimeter yang ditandai dengan perubahan koordinat stasiun *GPS* di Kepulauan Mentawai. Besarnya deformasi dalam arah *northing*, *easting* dan *elevation* yang

dilambangkan dengan  $dn$ ,  $de$  dan  $dH$ . Nilai pergeseran ini diperoleh dari tiga hari data pengamatan sebelum gempa dan tiga hari data pengamatan setelah gempa terjadi.

Tabel 4.2 Hasil Pengolahan Data *GPS* Menggunakan Data *SuGAR Network*

Name	Ground Northing (m)	Ground Easting (m)	Elevation (m)	dn (cm)	de (cm)	dH (cm)
MKMK	9718767,812	732545,891	-0,034	0,000	0,000	0,000
BSAT	9659842,733	642746,070	6,592	0,000	0,000	0,000
	9659842,729	642746,070	6,504	-0,400	0,000	-8,800
	9659842,728	642746,067	6,530	-0,100	-0,300	2,600
	9659842,663	642745,969	6,533	-6,500	-9,800	0,300
	9659842,540	642745,808	6,450	-12,300	-16,100	-8,300
	9659842,526	642745,793	6,493	-1,400	-1,500	4,300
	9659842,522	642745,785	6,488	-0,400	-0,800	-0,500
PRKB	9671999,420	655549,015	21,664	0,000	0,000	0,000
	9671999,418	655549,012	21,594	-0,200	-0,300	-7,000
	9671999,417	655549,012	21,601	-0,100	0,000	0,700
	9671999,370	655548,918	21,607	-4,700	-9,400	0,600
	9671999,323	655548,881	21,565	-4,700	-3,700	-4,200
	9671999,317	655548,874	21,606	-0,600	-0,700	4,100
	9671999,316	655548,874	21,613	-0,100	0,000	0,700
SLBU	9694179,627	612232,655	2,449	0,000	0,000	0,000
	9694179,624	612232,651	2,400	-0,300	-0,400	-4,900
	9694179,621	612232,647	2,404	-0,300	-0,400	0,400
	9694179,544	612232,553	2,382	-7,700	-9,400	-2,200
	9694179,401	612232,484	2,349	-14,300	-6,900	-3,300
	9694179,385	612232,472	2,382	-1,600	-1,200	3,300
	9694179,375	612232,470	2,384	-1,000	-0,200	0,200

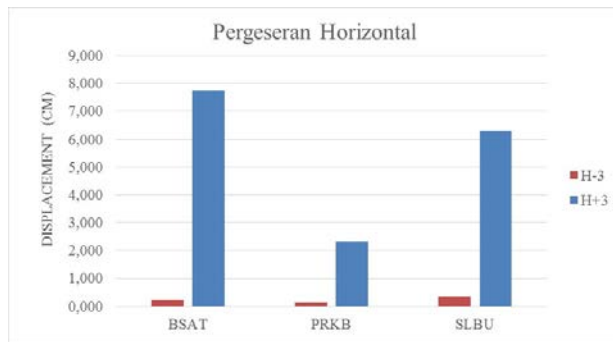
*Highlight* merah pada Tabel 4.2 menunjukkan gempa bumi utama. Dapat diketahui perbandingan perbedaan koordinat selang sehari sebelum dan setelah terjadi gempa bumi sangat signifikan di setiap stasiun pengamatan.

Pergeseran koordinat yang mengindikasikan deformasi dapat dibagi menjadi dua komponen, yaitu komponen horizontal dan komponen vertikal.

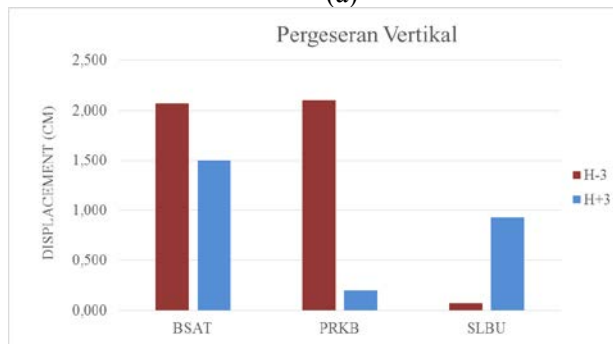
Tabel 4.3 Pergeseran Tiap Stasiun *GPS* Selama Pengamatan

Tanggal	Name	Pergeseran Horizontal ds (cm)	pergeseran Vertikal dH (cm)	Pergeseran titik δd (cm)
Base	MKMK	0,000	0,000	0,000
10/22/2010	BSAT	0,000	0,000	0,000
10/23/2010		0,400	-8,800	8,809
10/24/2010		0,316	2,600	2,619
10/25/2010		11,760	0,300	11,764
10/26/2010		20,261	-8,300	21,895
10/27/2010		2,052	4,300	4,764
10/28/2010		0,894	-0,500	1,025
Rata-Rata Gempa H-3		0,239	2,067	3,809
Rata-Rata Gempa H+3		7,736	1,500	9,228
Rata-Rata Keseluruhan		5,098	1,486	7,268
10/22/2010	PRKB	0,000	0,000	0,000
10/23/2010		0,361	-7,000	7,009
10/24/2010		0,100	0,700	0,707
10/25/2010		10,510	0,600	10,527
10/26/2010		5,982	-4,200	7,309
10/27/2010		0,922	4,100	4,202
10/28/2010		0,100	0,700	0,707
Rata-Rata Gempa H-3		0,154	2,100	2,572
Rata-Rata Gempa H+3		2,335	0,200	4,073
Rata-Rata Keseluruhan		2,568	0,729	4,352
10/22/2010	SLBU	0,000	0,000	0,000
10/23/2010		0,500	-4,900	4,925
10/24/2010		0,500	0,400	0,640
10/25/2010		12,151	-2,200	12,349
10/26/2010		15,878	-3,300	16,217
10/27/2010		2,000	3,300	3,859
10/28/2010		1,020	0,200	1,039
Rata-Rata Gempa H-3		0,333	1,500	1,855
Rata-Rata Gempa H+3		6,299	0,067	7,038
Rata-Rata Keseluruhan		4,578	0,929	5,576

Dari Tabel 4.3 dapat disimpulkan bahwa pada saat menjelang gempa (22-24 Oktober 2010) tidak terjadi besar deformasi yang signifikan yang ditunjukkan besar pergeseran rata-rata gempa H-3 di setiap stasiun *GPS*, akan tetapi besar deformasi selepas gempa (26-28 Oktober 2010), pergeseran rata-rata (H+3) relatif besar. Stasiun *GPS* yang mengalami pergeseran rata-rata horizontal dan vertikal terbesar adalah stasiun *GPS* BSAT, sedangkan yang terkecil adalah stasiun *GPS* PRKB. Detil dari pola deformasi 3 hari sebelum dan 3 hari setelah gempa ditampilkan pada grafik.



(a)

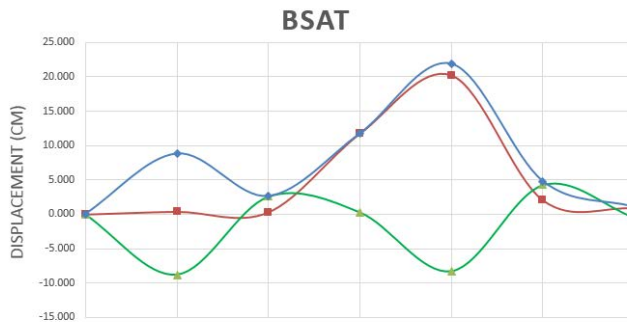


(b)

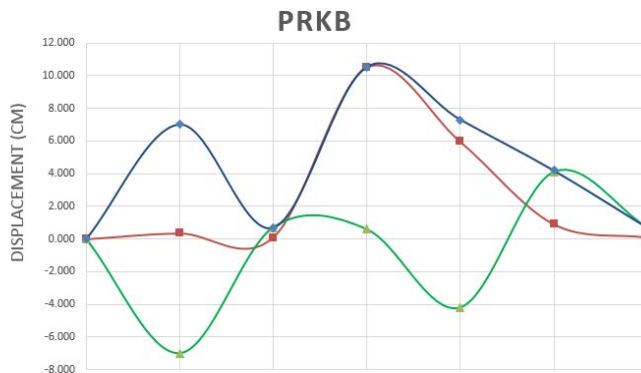
Gambar 4.17 Pergeseran (a) Horizontal dan (b) Vertikal Tiga Hari Sebelum dan Setelah Gempa



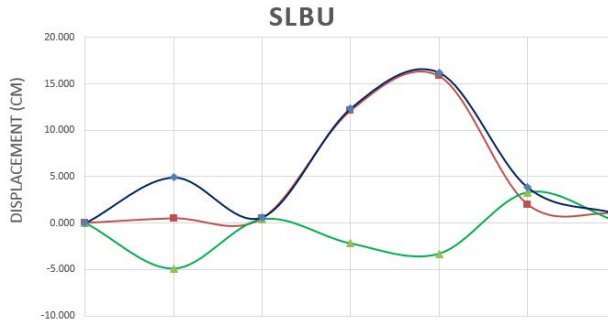
Koordinat di setiap stasiun *GPS* akan kembali ke tahap kesetimbangan awal yang baru apabila sisa-sisa energi dilepaskan secara perlahan dalam kurun waktu tertentu (*post-seismic*). Detil dari pola deformasi secara keseluruhan tiap stasiun *GPS* dalam *SuGAR Network* selama tujuh (7) hari pengamatan ditampilkan pada grafik.



Gambar 4.18 Besar *displacement* di stasiun *GPS* Bulasat (BSAT)



Gambar 4.19 Besar *displacement* di stasiun *GPS* Parak Batu (PRKB)

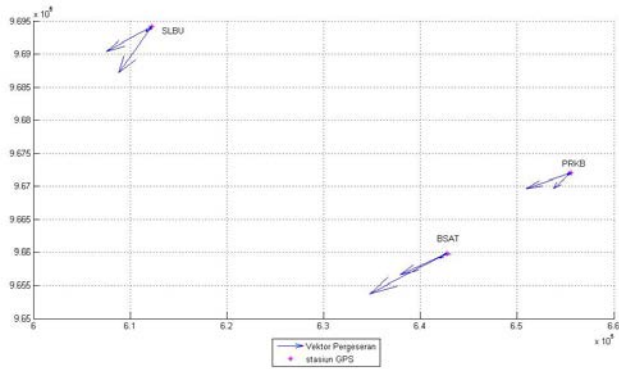


Gambar 4.20 Besar *displacement* di stasiun *GPS* Silabu (SLBU)

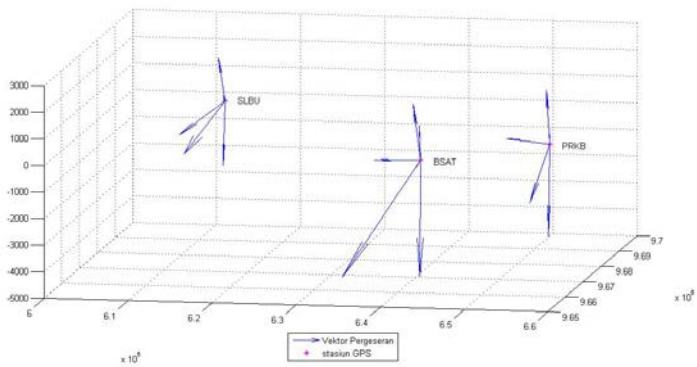
Keterangan:

- : Pergeseran Vertikal ( $dH$ )
- : Pergeseran Titik ( $\delta d$ )
- : Pergeseran Horizontal ( $ds$ )

Pada Gambar 4.21(a) dan (b) ditampilkan visualisasi vektor pergeseran data terhadap arah horizontal dan vertikal. Dapat diamati pada Gambar 4.21(a) bahwa pergerakan horizontal stasiun *SuGAR* menuju arah barat daya menuju ke arah *trench* zona subduksi Sumatra. Pergeseran yang diamati juga dalam lingkup vertikal (naik atau turun) yang ditunjukkan pada Gambar 4.21(b), dapat dilihat bahwa pergerakan stasiun *SuGAR* menunjukkan arah bawah/turun (bernilai negatif).



(a)



(b)

Gambar 4.21 Pergerakan (a)Horizontal dan (b)Vertikal

Titik-titik pengamatan *GPS* terletak pada aktivitas subduksi lempeng Indo-Australia terhadap lempeng Eurasia yang mengalami pergerakan setiap tahunnya. Lempeng Indo-Australia memiliki pergerakan relatif ke arah timur-timur laut dengan kecepatan  $\pm 7,7$  cm/tahun. Oleh karena itu, vektor pergeseran toposentrik hasil pengolahan data *GPS* masih dipengaruhi oleh pergerakan lempeng tersebut. (Mubyarto 2008)

#### **4.7 Validasi Besar Deformasi Proses *DInSAR* Menggunakan Hasil *SuGAR Network***

Pola deformasi pada citra *InSAR* merupakan deformasi relatif terhadap *Line of Sight (LOS)*. Pola deformasi yang terlihat masih belum terlalu jelas karena beberapa distorsi baik berupa dekorelasi temporal maupun dekorelasi geometri belum sepenuhnya hilang. Pengaruh topografi pada citra hasil pengolahan *DInSAR* juga belum dapat dihilangkan sepenuhnya. Hal tersebut dipengaruhi oleh data DEM yang digunakan. Ketelitian vertikal yang dimiliki oleh DEM hasil *SRTM3* adalah 16 m sehingga penentuan tinggi pada saat proses subtraksi pengaruh topografi masih memiliki kesalahan. Hal tersebut mengakibatkan *phase* akhir pada *phase* interferogram masih mengandung sinyal topografi.

Pengaruh atmosfer terhadap hasil pengolahan juga belum dapat dihilangkan sepenuhnya. Pengaruh atmosfer yang paling berpengaruh pada hasil pengolahan adalah pengaruh akibat efek troposfer. Efek troposfer pada perambatan gelombang elektromagnetik akan menyebabkan keterlambatan *phase* yang akan berpengaruh terhadap penentuan jarak (Hanssen 2001). Untuk itu diperlukan validasi hasil *DInSAR* dengan penelitian menggunakan metoda lainnya yang lebih teliti, seperti *GPS*.

Hasil ALOS PALSAR dengan akuisisi data 29 September 2010 dan 14 November 2010 dibandingkan dengan data *GPS* dalam *SuGAR Network* yang diambil pada tanggal 22-28

Oktober 2010. Pengambilan data *GPS* pada kurun waktu tersebut dengan asumsi bahwa pola deformasi akibat gempa bumi 25 Oktober 2010 akan terlihat jelas karena pada waktu ini terjadi proses *coseismic*.

Untuk membandingkan *displacement* yang terjadi di setiap stasiun *GPS* dengan menggunakan metode *DInSAR* dan data *GPS* dalam *SuGar Network* ditunjukkan pada Tabel 4.4. Vektor pergeseran *SAR* dalam 1D sepanjang *LOS* sistem radar yang terdiri dari komponen perpindahan vertikal, *easting* dan *northing*. Hal ini dikarenakan keterbatasan informasi data *SAR* dari perbedaan sudut pandang (*incidence angle*) dan orbit di periode waktu yang sama sehingga tidak mungkin untuk menurunkan perpindahan vektor 3D.

Tabel 4.4 Perbandingan Pergeseran Data *SAR* dan *GPS*

No	Nama Stasiun	Pergeseran SAR (cm)	Pergeseran GPS (cm)	RMSE (cm)	Nilai Residu (cm)
1	BSAT	6,500	7,268	0,314	0,768
2	PRKB	4,500	4,352	0,061	0,148
3	SLBU	7,500	5,576	0,786	1,924
Rata-Rata					0,947

Berdasarkan Tabel 4.4 dapat disimpulkan bahwa hasil deformasi metode *DInSAR* dengan data *GPS* dalam *SuGar Network* memiliki nilai *RMSE* terkecil di stasiun *GPS* PRKB dan nilai *RMSE* terbesar di stasiun *GPS* SLBU. Sedangkan residu rata-rata dari ketiga stasiun *GPS* dengan data *SAR* sebesar 0,947 cm. Perbedaan pergeseran data *SAR* dan *GPS* dimungkinkan prinsip perhitungan jarak dari masing-masing metode yang berbeda dimana prinsip *SAR* adalah berdasarkan *Line Of Sight (LOS)* radar dan *GPS* berdasarkan pengikatan kebelakang. Selain itu, dapat pula disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu:

- perbedaan antara tanggal pengambilan data *GPS* dalam *SuGAR Network* dan tanggal akuisisi citra satelit,
- ketidakakuratan dalam pengolahan *DInSAR*,
- kurang strategi pengolahan data yang baik seperti penentuan pola jaring yang digunakan untuk mendapatkan koordinat masing-masing stasiun *GPS* dalam *SuGAR Network*.

Hipotesa nol yang digunakan dalam penelitian ini adalah “*Pergeseran Data SAR Tidak Dapat Digunakan Sebagai Hasil Pemantauan Besar Deformasi Dibandingkan dengan Pergeseran Tiap Stasiun GPS*”. Jika level signifikan ( $\alpha$ ) yang digunakan adalah 0,05 dengan derajat kebebasan 6 ( $n=7$ ), maka didapatkan  $t\text{-distributions}(t_{\alpha/2}) = t_{0,975,6} = 2,45$  (dari tabel *student t-test* terlampir), dengan perhitungan menggunakan rumus (2.28) dan hipotesa statistik, hasil uji  $t\text{-test}$  dapat dilihat pada Tabel 4.5

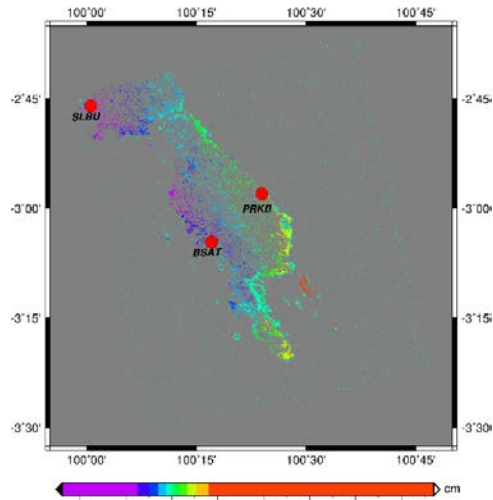
Tabel 4.5 Hasil Uji  $t\text{-test}$

No	Nama Stasiun	Data GPS/ $\mu$ (cm)	Data SAR/ $\bar{y}$ (cm)	$S$ (cm)	$t_{\alpha/2} * S / \sqrt{n}$ (cm)	$\bar{y} - t_{\alpha/2} * S / \sqrt{n}$ (cm)	$\bar{y} + t_{\alpha/2} * S / \sqrt{n}$ (cm)	H0
1	BSAT	7,268	6,500	2,365	2,190	4,310	8,690	Ditolak
2	PRKB	4,352	4,500	1,384	1,282	3,218	5,782	Ditolak
3	SLBU	5,576	7,500	2,368	2,193	5,307	9,693	Ditolak

Berdasarkan Tabel 4.5 dapat disimpulkan  $H_0$  **ditolak** dan  $H_a$  **diterima**, dengan kata lain “*Pergeseran Data SAR Dapat Digunakan Sebagai Hasil Pemantauan Besar Deformasi Sama Seperti Pergeseran Tiap Stasiun GPS*”.

Berdasarkan teori komponen deformasi hasil pengolahan *InSAR* merupakan gabungan dari komponen vertikal dan horizontal. Untuk dapat memisahkan komponen vertikal dan horizontal tersebut diperlukan citra gabungan dari orbit *ascending* dan *descending* (Hannsen 2001). Untuk mengetahui terjadi *sudside* atau *uplift* di setiap stasiun pengamatan *GPS* maka dilakukan *overlay* hasil pengolahan

data *SAR* metode *DInSAR* dan hasil data *GPS* dalam *SuGAR Network*.



Gambar 4.22 *Overlay Citra Unwrap dengan Stasiun GPS*

Berdasarkan Gambar 4.22 dapat disimpulkan terjadi *subsidence* pada stasiun *GPS* SLBU dan BSAT yang ditunjukkan oleh *scalebar* pada citra hasil *unwrap* bergerak ke arah kiri dan terjadi *uplift* di stasiun *GPS* PRKB yang berada di wilayah timur Kepulauan Mentawai yang ditunjukkan pergerakan *scalebar* menuju ke arah kanan.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisa deformasi di daerah rawan gempa metode *2-pass DInSAR* dengan menggunakan citra satelit ALOS PALSAR, maka didapatkan beberapa kesimpulan, yaitu:

- a. Teknologi SAR cukup efektif untuk melihat besar deformasi dibuktikan dengan hasil pengolahan data GPS dalam *SuGAR Network* memiliki kecenderungan pola deformasi yang sama dengan hasil yang di dapatkan dari metode *DInSAR* baik di area yang mengalami *uplift* atau *subsidence*.
- b. Berdasarkan hasil *unwrap* menunjukkan bahwa di Kepulauan Mentawai bagian timur terjadi *subsidence* dan *uplift* di wilayah barat.
- c. Dari pengolahan *DInSAR* didapatkan besar deformasi terhadap *line of sight(LOS)* dengan nilai -20 cm sampai dengan 20 cm.
- d. Hasil validasi pergeseran data SAR menggunakan data GPS dalam *SuGAR Network* menunjukkan bahwa besar deformasi yang didapatkan dari metode *DInSAR* dapat digunakan untuk pemantauan deformasi yang dibuktikan dengan hasil uji statistika dengan tingkat kepercayaan 95% dan derajat kebebasan 6.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengolahan data dan kesimpulan yang diperoleh, beberapa saran yang dapat diberikan antara lain:

- a. Masih terdapatnya dekorelasi temporal dan dekorelasi geometrik pada metode *DInSAR* untuk mengetahui besar deformasi maka diperlukan penelitian lebih lanjut.
- b. Melakukan pengolahan-pengolahan citra *SAR* dengan metode lainnya seperti *three pass*, *four pass* dan *Persistenst Scaterers InSAR* ( pengolahan *SAR* dengan menggunakan objek berkarakteristik sama pada akuisisi data yang berbeda-beda).
- c. Pengolahan data dengan *software GMTSAR* sebaiknya menguasai *software GMT* dan bahasa pemrograman *C* karena banyak perintah yang didasarkan pada *GMT* dan *GMTSAR* berbasis bahasa *C*.
- d. Menggunakan *software* yang bervariasi sehingga dapat membandingkan besar deformasi antar *software* karena *software GMTSAR* belum mampu mengatasi masalah koherensi yang rendah sehingga mempengaruhi hasil *unwrapping*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H.Z. 2001. Penentuan posisi dengan GPS dan Aplikasinya. P.T Pradnya Paramita, Jakarta
- Abidin, H.Z., dkk. 2007. “Karakteristik Deformasi Gunungapi Ijen dalam Periode 2002-2005 Hasil Estimasi Metode Survei GPS”. Prosiding ITB Sains & Tek 39A,1&2: 1-22.
- Agustan. 2010. Ground Deformation Detection Based on ALOS – PALSAR Data Utilizing DInSAR Technique in Indonesia. Nagoya : Department of Earth and Environmental Sciences, Nagoya University.
- Canaslan, F dan Aydin USTUN. 2012. “Impact of Perpendicular and Temporal Baseline Characteristics on InSAR Coherence Maps”. Proceeding of FIG Working Week. Rome, Italy, 6-10 May. TS05H - Remote Sensing I, 5767.
- Caspary, W.F. 1987. Concepts of Network and Deformation Analysis. Monograph 11, School of Surveying, The University of New South Wales, Kensington, NSW, Australia, 183.
- Chen, Yongqi., Guobao ZHANG, Xiaoli DING dan Zhilin LI. \_\_\_\_\_. “Monitoring Earth Surface Deformations with InSAR Technology: Principle and Some critical Issues”. Journal of Geospatial Engineering 2, 1:3-21.
- Curlander, J. C., dan R. N. McDonough. 1991. Synthetic Aperture Radar: Systems and Signal Processing. New York.
- ESA. 2000. Layover. Dari <URL:[http://earth.esa.int/applications/data\\_util/SARDOC/S/spaceborne/Radar\\_Courses/Radar\\_Course\\_III/layover.htm](http://earth.esa.int/applications/data_util/SARDOC/S/spaceborne/Radar_Courses/Radar_Course_III/layover.htm)>. Dikunjungi pada tanggal 15 Maret 2014, jam 09.00.
- ESA. 2000. Foreshortening. Dari <URL:[http://earth.esa.int/applications/data\\_util/SARDOC/S/spaceborne/Radar\\_Courses/Radar\\_Course\\_III/slant\\_range\\_ground\\_range.htm](http://earth.esa.int/applications/data_util/SARDOC/S/spaceborne/Radar_Courses/Radar_Course_III/slant_range_ground_range.htm)>. Dikunjungi pada tanggal 15 Maret 2014, jam 09.00.

- ESA. 2000. Shadow. Dari <URL:[http://earth.esa.int/applications/data\\_util/SARDOC/S/spaceborne/Radar\\_Courses/Radar\\_Course\\_III/shadow.htm](http://earth.esa.int/applications/data_util/SARDOC/S/spaceborne/Radar_Courses/Radar_Course_III/shadow.htm)>. Dikunjungi pada tanggal 15 Maret 2014, jam 09.00.
- ESA. 2000. Slant Range/Ground Range. Dari <URL:[http://earth.esa.int/applications/data\\_util/SARDOC/S/spaceborne/Radar\\_Courses/Radar\\_Course\\_III/slant\\_range\\_ground\\_range.htm](http://earth.esa.int/applications/data_util/SARDOC/S/spaceborne/Radar_Courses/Radar_Course_III/slant_range_ground_range.htm)>. Dikunjungi pada tanggal 15 Maret 2014, jam 09.00.
- Ferretti, A., Andrea Monti-Guarnieri, Claudio Prati, dan Fabio Rocca. 2007a. InSAR Principles : Guidelines For SAR Interferometry Processing And Interpretation. The Netherlands: ESA Publications.
- Ferretti, A., Andrea Monti-Guarnieri, Claudio Prati, dan Fabio Rocca. 2007b. InSAR Processing : A Practical Approach. The Netherlands: ESA Publications.
- Ghilani, C.D dan P.R.Wolf. 2006. Adjustment Computations Spatial Data Analysis Fourth Edition. Canada: John Wiley & Sons, Inc
- Goldstein, R.M., H. Engelhardt, B. Kamb and R.M. Frolich, 1993. "Satellite radar interferometry for monitoring ice sheet motion: Application to an Antarctic ice stream". Science, 262, 1525–153.
- Hadiyanto, E.H. 2011. Studi Deformasi Gunung Merapi Menggunakan Teknologi Interferometry Synthetic Aperture Radar (InSAR). Surabaya: Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Hanssen, R.F. 2001. Radar Interferometry. Data Interpretation and Error Analysis. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands: Delft University of Technology.
- Hardi, A.H. 2008. Studi Pemanfaatan Band Yang Berbeda Pada Insar (Interferometric Synthetic Aperture Radar). Bandung : Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung.

- Hayati, N. 2013. Analisa Gerakan Lereng (Slope Movement) di Daerah Rawan Bencana Longsor Menggunakan Teknologi DInSAR (studi Kasus: Kota Semarang, Jawa Tengah). Surabaya Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Indra. 2011. Penggunaan *Dual Pass Differential Insar* Untuk Pemantauan Deformasi (Studi Kasus : Sesar Palu-Koro). Bandung : Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung.
- Ismullah, I.H. 2004. Pengolahan Fasa untuk Mendapatkan Model Tinggi Permukaan Dijital (DEM) pada Radar Apertur Sintetik Interferometri (INSAR) Data Satelit. Prosiding ITB Sains & Tek. 36A, 1:11-32.
- Kusman, A. 2008. Studi Deformasi Gunung Api Batur Dengan Menggunakan Teknologi SAR Interferometri (InSAR). Bandung : Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung.
- Massonnet D dan K. Feigl. 1998. "Radar interferometry and its application to changes in the earth's surface". Reviews of Geophysics 36, 4:441–500.
- Mubyarto, F. 2008. Analisis Pola Deformasi Interseismic Gempa Bengkulu 2007 dari Data GPS Kontinyu SuGAR. Bandung: Teknik Geodesi dan Geomatika, Institut Teknologi Bandung.
- Munir, M. 2003. Geologi Lingkungan. Malang: Bayumedia Publishing.
- Ng, A.H., dkk. 2008. "Radar Interferometry for Ground Subsidence Monitoring Using ALOS PALSAR Data". Beijing : The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B7.
- Purna, T. 2009. Pemanfaatan Metode InSAR untuk Pemantauan Deformasi Gunung Api dan Penurunan Tanah. Bandung: Teknik Geodesi dan Geomatika, Institut Teknologi Bandung.

- Putra, A.P. 2011. Penataan Ruang Berbasis Mitigasi Bencana Kabupaten Mentawai. *Jurnal Penanggulangan Bencana* 2, 1:11-20 .
- Rusmen , M. , dkk. 2012. “Analisis Deformasi Gempa Mentawai Tahun 2010 Berdasarkan Data Pengamatan GPS Kontinu Tahun 2010-2011”. Bandung: Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika *Jurnal Geofisika* 13, 2.
- Sandwell, D., Rob Mellors, Xiaopeng Tong, Matt Wei, and Paul Wessel. 2011. GMTSAR: An InSAR Processing System Based on Generic Mapping Tools. *Scripps Institution of Oceanography Technical Report*.
- Sharav, A. 2003. Differential SAR Interferometry for crustal deformation study. The Netherlands : International Institute For Geo-Information Science And Earth Observation Enschede.
- Tomiyama, N. 2010. “Microwave Remote Sensing Wih Focuses on Forestry And Agriculture”. ISPRS Students Consorsium And WG VI/5 5<sup>th</sup> Summer School, Hanoi, Vietnam, 6-10 November.
- Usai, S. 2001. A New Approach for long Term Monitoring of Deformation by Differential SAR Interferometry. The Netherlands: Delf University Press.
- Wessel, P., Walter H. F. Smith. 2014. The Generic Mapping Tools: Technical Reference and Cookbook Version 4.5.12. School of Ocean and Earth Science and Technology University of Hawai’i at Mānoa dan Laboratory for Satellite Altimetry NOAA/NESDIS.
- Yudhicara, W. K. 2010. “Jejak tsunami 25 Oktober 2010 di Kepulauan Mentawai berdasarkan penelitian kebunian dan wawancara”. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi* 1, 3:165-181.

## **Lampiran 1**

### **Parameter Hasil *Pre-Processing***

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



### **Parameter Hasil *Pre-Processing* dari Master**

num_valid_az	=	9216
nrows	=	16384
first_line	=	1
deskew	=	n
caltone	=	0.000000
st_rng_bin	=	1
Flip_iq	=	n
offset_video	=	n
az_res	=	5.000000
nlooks	=	1
chirp_ext	=	500
scnd_rng_mig	=	n
rng_spec_wgt	=	1.000000
rm_rng_band	=	0.000000
rm_az_band	=	0.000000
rshift	=	0
ashift	=	0
stretch_r	=	0.000000
stretch_a	=	0.000000
a_stretch_r	=	0.000000
a_stretch_a	=	0.000000
first_sample	=	206
SC_identity	=	5
rng_samp_rate	=	16000000.000000
input_file	=	IMG-HH-ALPSRP249377120-
H1.0__A.raw		
num_rng_bins	=	5652
bytes_per_line	=	10800
good_bytes_per_line	=	10716
PRF	=	2150.538000
pulse_dur	=	2.700000e-05
near_range	=	847616.000000
num_lines	=	35269
num_patches	=	3
SC_clock_start	=	2010272.6715461342
SC_clock_stop	=	2010272.6717359491
led_file	=	LED-ALPSRP249377120-H1.0__A

```

date                = 100929
orbdir              = A
radar_wavelength    = 0.236057
chirp_slope         = -5.18519e+11
rng_samp_rate       = 1.6e+07
I_mean              = 15.5
Q_mean              = 15.5
SC_vel              = 7203.997999
earth_radius        = 6378034.192939
equatorial_radius= 6378137.000000
polar_radius        = 6356752.314100
SC_height           = 698493.988893
SC_height_start     = 698547.266480
SC_height_end       = 698440.391074
fdl                 = 59.442935
fddl                = 0.00000000
fddd1              = 0.000000
sub_int_r           = 0.000000
sub_int_a           = 0.000000
SLC_scale           = 1.000000

```

**Parameter Hasil *Pre-Processing* dari Slave**

```

num_valid_az        = 9216
nrows               = 16384
first_line          = 1
deskew              = n
caltone             = 0.000000
st_rng_bin          = 1
Flip_iq             = n
offset_video        = n
az_res              = 5.000000
nlooks              = 1
chirp_ext           = 500
scnd_rng_mig        = n
rng_spec_wgt        = 1.000000
rm_rng_band         = 0.000000
rm_az_band          = 0.000000
rshift              = 0
ashift              = 0
stretch_r           = 0.000000

```

```

stretch_a           = 0.000000
a_stretch_r         = 0.000000
a_stretch_a         = 0.000000
first_sample        = 206
SC_identity          = 5
rng_samp_rate        = 16000000.000000
input_file           = IMG-HH-ALPSRP256087120-
H1.0__A.raw
num_rng_bins         = 5652
bytes_per_line       = 10800
good_bytes_per_line = 10716
PRF                  = 2150.538000
pulse_dur            = 2.700000e-05
near_range           = 847616.000000
num_lines            = 35269
num_patches          = 3
SC_clock_start       = 2010318.6710671876
SC_clock_stop        = 2010318.6712569906
led_file             = LED-ALPSRP256087120-H1.0__A
date                 = 101114
orbdir               = A
radar_wavelength     = 0.236057
chirp_slope          = -5.18519e+11
rng_samp_rate        = 1.6e+07
I_mean               = 15.5
Q_mean               = 15.5
SC_vel               = 7204.031022
earth_radius         = 6378034.192939
equatorial_radius    = 6378137.000000
polar_radius         = 6356752.314100
SC_height            = 698444.770835
SC_height_start      = 698497.846883
SC_height_end        = 698391.376123
fdl                  = 59.442935
fdd1                 = 0.00000000
fddd1                = 0.000000
sub_int_r            = 0.000000
sub_int_a            = 0.000000
SLC_scale            = 1.000000

```

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

**Lampiran 2**  
**Tabel *Student t-test***

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

$\alpha \rightarrow$ $v_l$	0.400	0.350	0.300	0.250	0.200	0.150	0.100	0.050	0.025	0.010	0.005	0.001	0.0005
1	0.325	0.510	0.727	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.705	31.816	63.639	318.20	636.18
2	0.289	0.445	0.617	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.964	9.925	22.401	31.579
3	0.277	0.424	0.584	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.183	4.541	5.842	10.216	12.954
4	0.271	0.414	0.569	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.748	4.604	6.897	8.610
5	0.267	0.408	0.559	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	5.895	6.880
6	0.265	0.404	0.553	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.708	5.208	5.961
7	0.263	0.402	0.549	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.500	4.785	5.408
8	0.262	0.399	0.546	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.356	4.510	5.041
9	0.261	0.398	0.543	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.820	3.250	4.304	4.781
10	0.260	0.397	0.542	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.149	4.605
11	0.260	0.396	0.540	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.029	4.452
12	0.259	0.395	0.538	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.854	4.329
13	0.259	0.394	0.538	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.854	4.230
14	0.258	0.393	0.537	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.789	4.148
15	0.258	0.393	0.536	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.734	4.079
16	0.258	0.392	0.535	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.688	4.021
17	0.257	0.392	0.534	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.647	3.970
18	0.257	0.391	0.533	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.611	3.926
19	0.257	0.391	0.533	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.580	3.887
20	0.257	0.391	0.533	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.553	3.853
21	0.257	0.391	0.532	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.528	3.822
22	0.256	0.390	0.532	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.506	3.795
23	0.256	0.390	0.532	0.685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.486	3.770
24	0.256	0.390	0.531	0.685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.467	3.748
25	0.256	0.390	0.531	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.451	3.727
26	0.256	0.390	0.531	0.684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.435	3.708
27	0.256	0.389	0.531	0.684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.421	3.691
28	0.256	0.389	0.530	0.683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.409	3.675
29	0.256	0.389	0.530	0.683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.397	3.661
30	0.256	0.389	0.530	0.683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.385	3.647
35	0.255	0.388	0.529	0.682	0.852	1.052	1.306	1.690	2.030	2.438	2.724	3.340	3.592
40	0.255	0.388	0.529	0.681	0.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.307	3.552
60	0.254	0.387	0.527	0.679	0.848	1.045	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.232	3.461
120	0.254	0.386	0.526	0.677	0.845	1.041	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	3.160	3.374
$\infty$	0.253	0.385	0.525	0.675	0.842	1.037	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.291	3.300

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



## BIOGRAFI PENULIS



**Ana Rizka Sari.** Penulis dilahirkan di Blitar, 20 September 1991, merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Al-Hidayah Kesamben, MI Safinatul Ulum Kesamben, MTsN Jambewangi Selopuro, kemudian di SMAN 1 Talun dan lulus pada tahun 2010. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan untuk perguruan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan mengambil Jurusan Teknik Geomatika lewat jalur SNMPTN. Selama menjadi mahasiswa S1, penulis cukup aktif di organisasi intra kampus yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Geomatika (HIMAGE ITS) dan Staff Badan Semi Otonom ITS Education Care Center (BSO IECC ITS). Selain itu penulis juga aktif mengikuti pelatihan keterampilan manajemen mahasiswa seperti LKMM PRA-TD, LKMM TD dan LKMM-TM serta aktif dalam kepanitiaan di tingkat jurusan dan institut. Dalam penyelesaian syarat Tugas Akhir, penulis memilih bidang keahlian Geospasial, dengan judul tugas akhir “Metode *Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR)* untuk Analisa Deformasi di Daerah Rawan Bencana Gempa Bumi (Studi Kasus: Kepulauan Mentawai, Sumatera Barat)”.